

EEL878 - Redes de Computadores I

Prof. Luís Henrique Maciel Kosmalski Costa

<http://www.gta.ufrj.br/ensino/ee1878>

luish@gta.ufrj.br

Parte I

Princípios Básicos de Comunicação em
Redes

Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem?



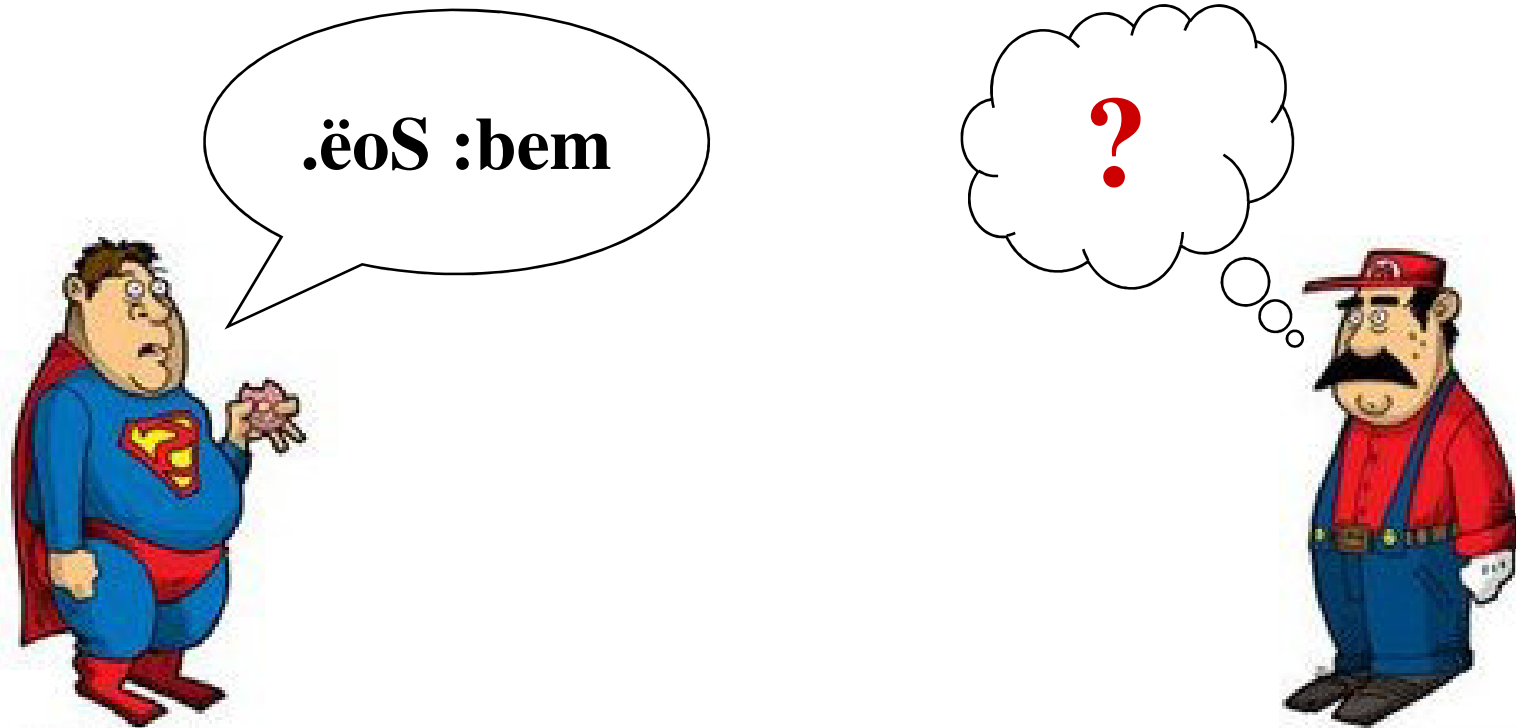
Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem?
 - Um canal de comunicação entre elas



Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem?
 - Um canal de comunicação entre elas



Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem e se entenderem?



Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem e se entenderem?
 - Uma linguagem comum entre as duas partes



Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem e se entenderem?
 - Uma linguagem comum entre as duas partes



Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem e se entenderem?
 - Uma linguagem comum entre as duas partes



Protocolos de Comunicação

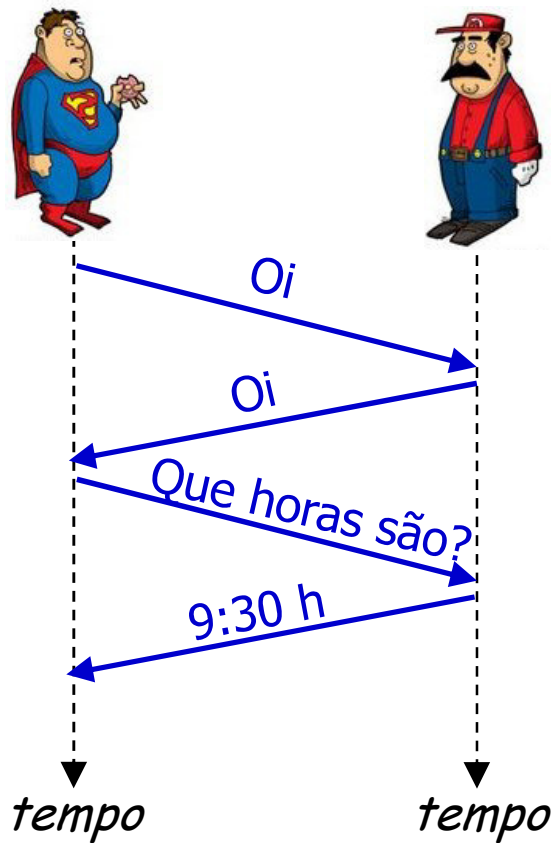
- Conjunto de regras e procedimentos que definem a comunicação entre duas ou mais entidades
- Definem
 - As ações tomadas durante a recepção e/ou transmissão de mensagens
 - As ações tomadas caso outros eventos ocorram
 - Ex.: Desaparecimento de um vizinho
 - O formato e a ordem das mensagens trocadas entre duas ou mais entidades

Protocolos de Comunicação

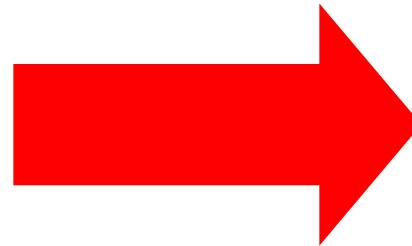
- Na Internet...
 - Todas as atividades que envolvem duas ou mais entidades comunicantes são governadas por um protocolo

Protocolos de Comunicação

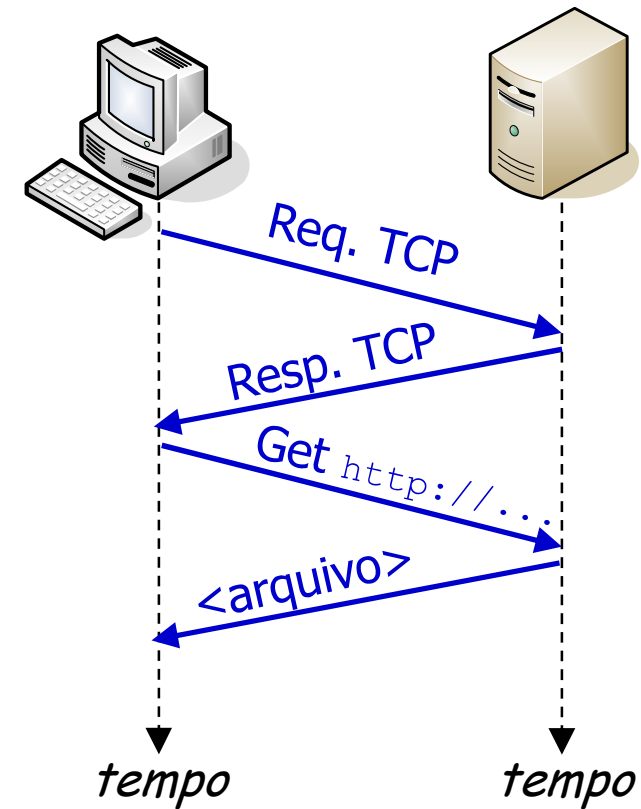
Protocolo humano



Analogia
utilizando
hardware e
software...



Protocolo de rede



Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicarem
 - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade, segura, em grupo, etc.

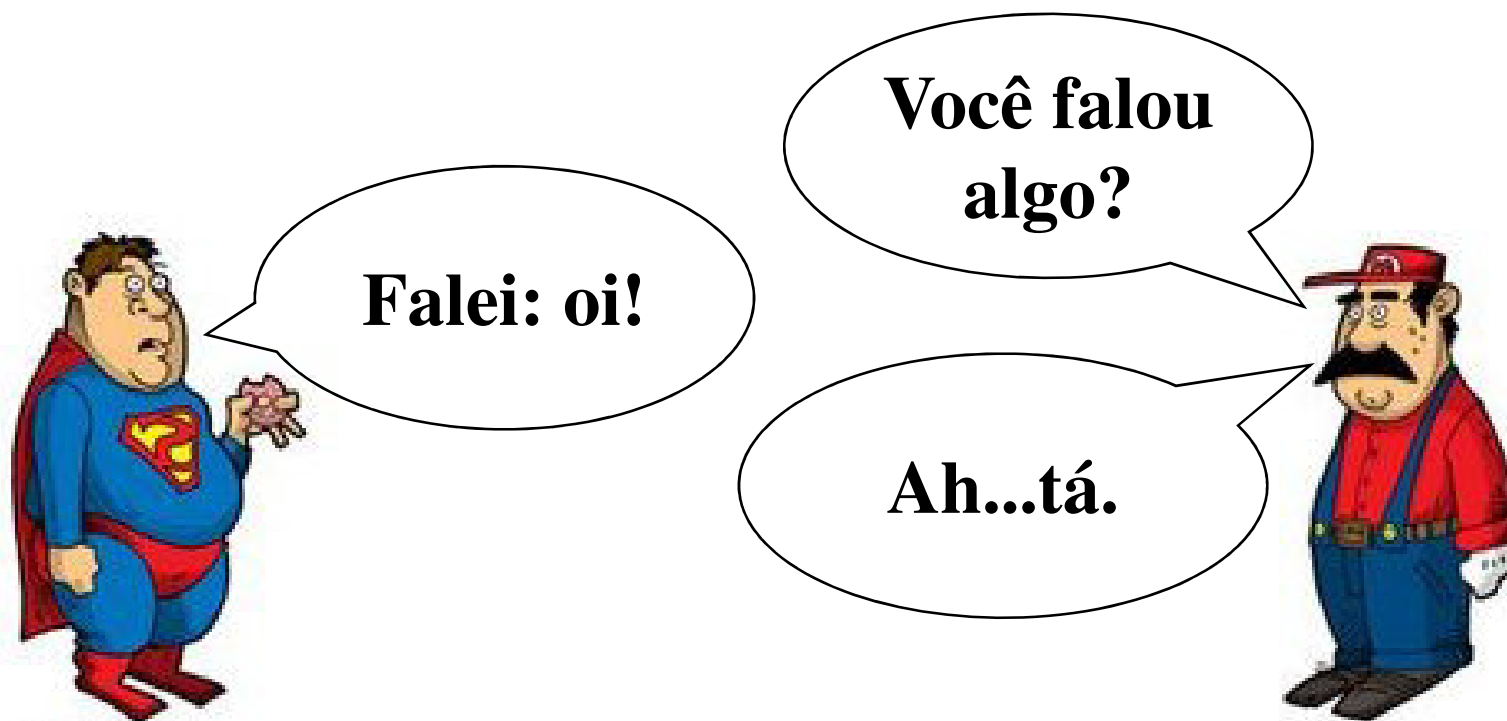
Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicarem
 - Comunicação confiável e sem falhas



Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicarem
 - Comunicação confiável e sem falhas



Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicarem
 - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade



Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicarem
 - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade, segura,



Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicarem
 - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade, segura, em grupo, etc.



Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicarem
 - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade, segura, em grupo, etc.



Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem “apenas” se comunicarem
 - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade, segura, em grupo, etc.

Ao aumentar os requisitos...



Maior é a complexidade do protocolo de comunicação usado nas redes de computadores

O que são as Redes de Computadores?

- Definições
 - Conjunto de computadores autônomos interconectados por uma única tecnologia
 - **A Internet é uma "rede de redes"!**
 - Sistema de comunicação que visa a interconexão entre computadores, terminais e periféricos
- Usos das redes de computadores
 - Aplicações comerciais
 - **Compartilhamento de recursos físicos e informações**
 - **Comunicação entre usuários**
 - **Comércio eletrônico**

O que são as Redes de Computadores?

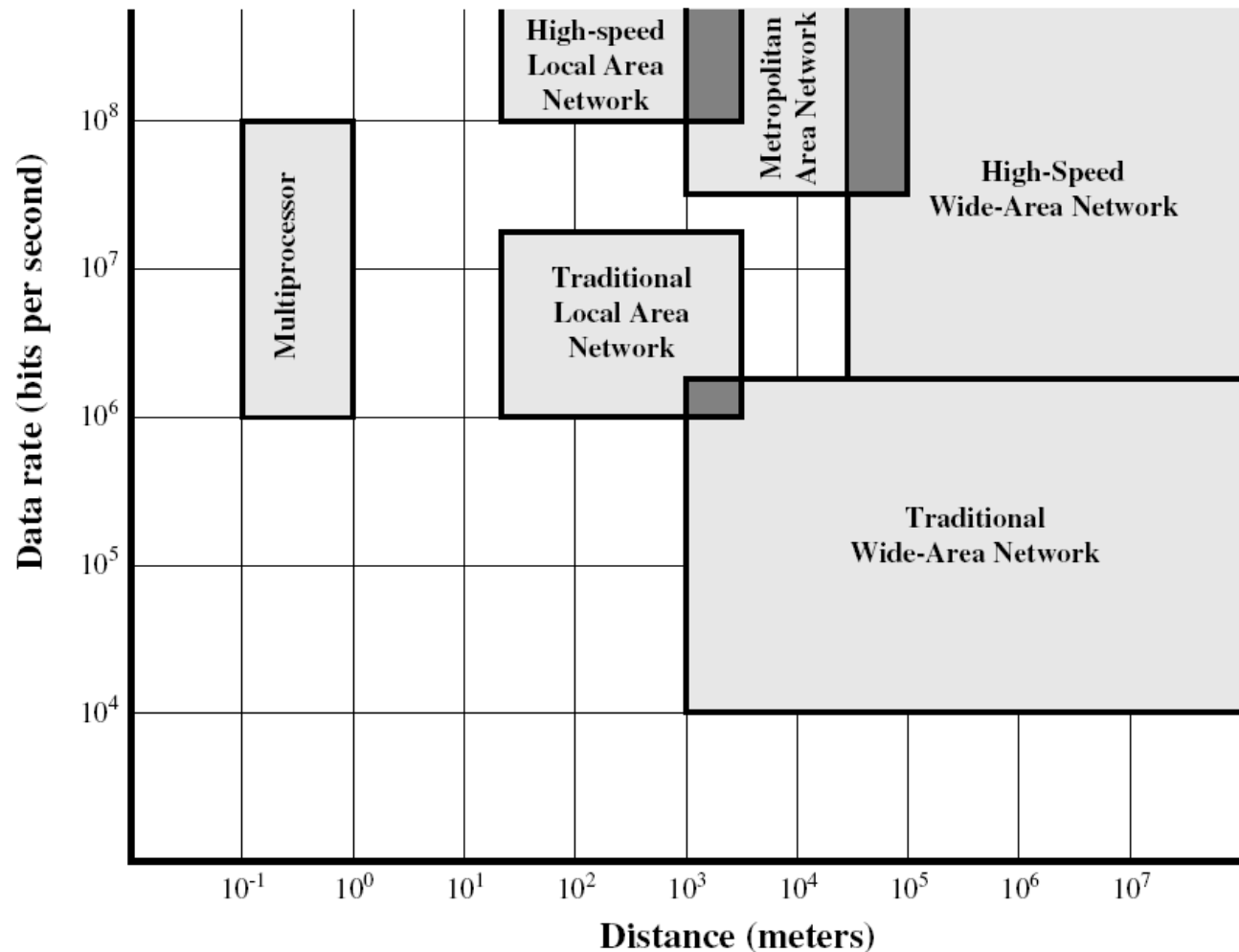
- Usos das redes de computadores (continuação)
 - Aplicações domésticas
 - Compartilhamento de recursos físicos e informações
 - Comunicação entre usuários
 - Comércio eletrônico
 - Entretenimento
 - Usuários móveis
 - Escritório portátil
 - Aplicações militares

Como as Redes podem ser Classificadas?

- Segundo a extensão geográfica...
 - Redes "do corpo" (*Body Area Networks* - BANs)
 - Redes pessoais (*Personal Area Networks* - PANs)
 - Redes de controladores (*Controller Area Networks* - CANs)
 - Redes locais (*Local Area Networks* - LANs)
 - Redes metropolitanas (*Metropolitan Area Networks* - MANs)
 - Redes regionais (*Regional Area Networks* - RANs)
 - Redes de longa distância (*Wide Area Networks* - WANs)
 - Redes de nuvens (*Internet Area Networks* - IANs)
 - etc....

Como as Redes podem ser Classificadas?

Comparação de LANs, MANs e WANs (fonte: Stallings)



Como as Redes podem ser Classificadas?

- Redes Pessoais (PAN)
 - Cobrem distâncias muito pequenas
 - Destinadas a uma única pessoa
 - Ex.: Bluetooth, ZigBee etc.

Por serem
comumente sem-fio
são chamadas
também de WPAN
(Wireless PAN)



Como as Redes podem ser Classificadas?

- Redes Locais (LAN)
 - Cobrem pequenas distâncias
 - Um prédio ou um conjunto de prédios
 - Geralmente pertencentes a uma mesma organização
 - Taxa de transmissão da ordem de Mb/s
 - Pequenos atrasos de propagação

 - Ex.: Ethernet, WiFi, etc.

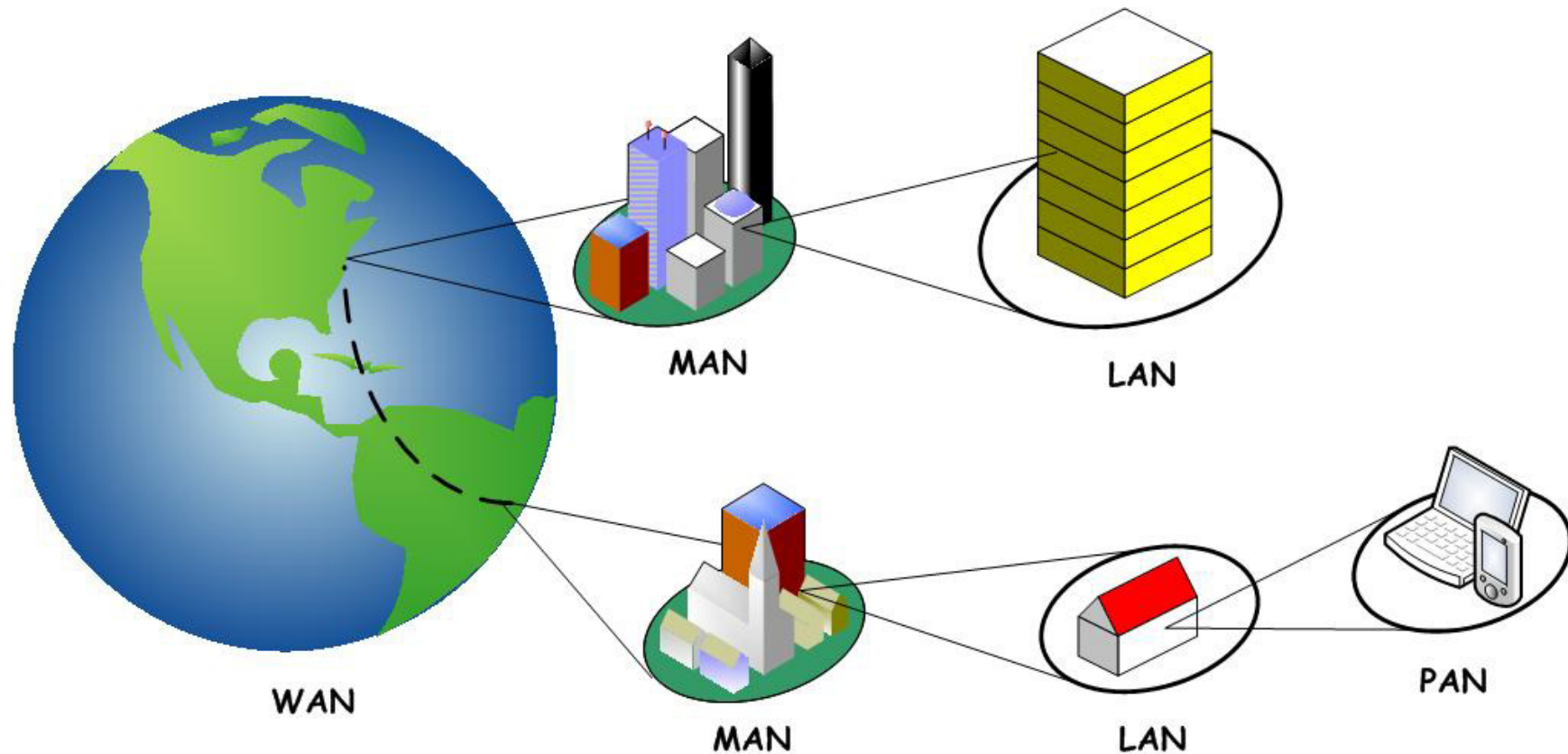
Como as Redes podem ser Classificadas?

- Redes Metropolitanas (MAN)
 - Cobrem grandes distâncias
 - Uma cidade
 - Ex.: rede baseada na TV a cabo

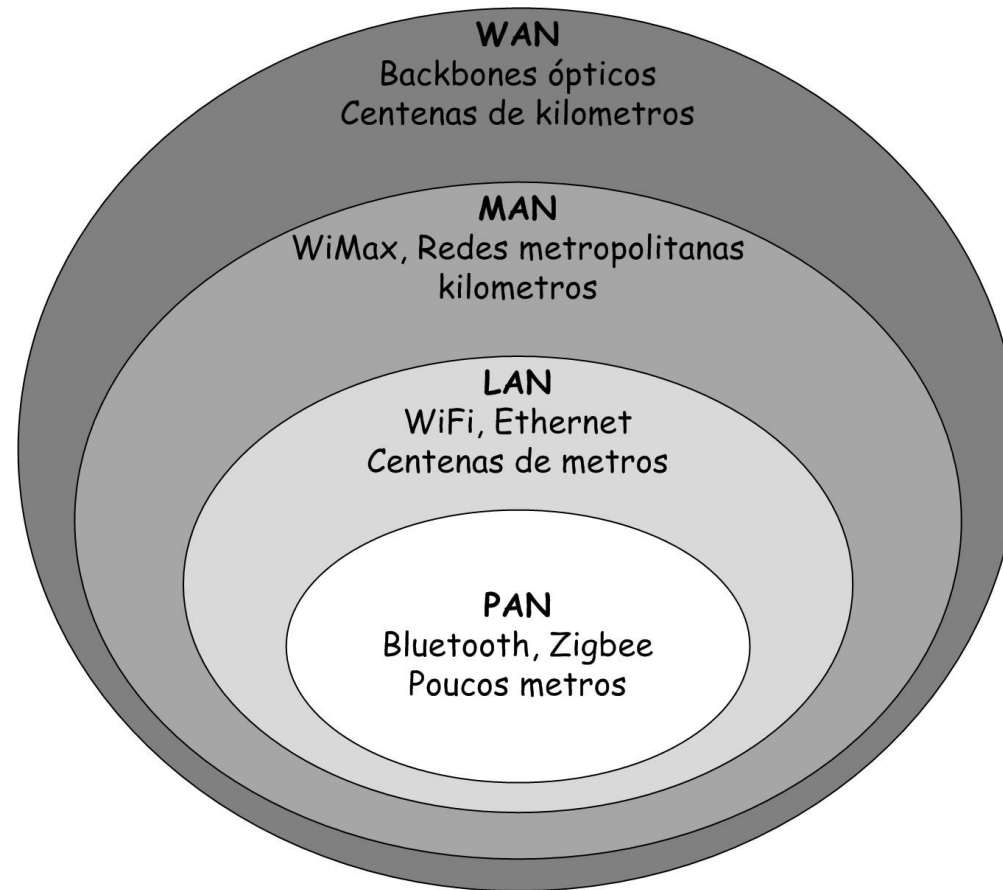
Como as Redes podem ser Classificadas?

- Redes de Longa Distância (WAN)
 - Cobrem distâncias muito grandes
 - Um país, um continente
 - Transmissão através de comutadores de pacotes interligados por enlaces dedicados
 - De um modo geral possuem taxas de transmissão menores que as das LANs
 - Atraso de propagação maiores do que das LANs
 - Ex.: ATM

Como as Redes podem ser Classificadas?



Como as Redes podem ser Classificadas?



Como as Redes podem ser Classificadas?

- Segundo a topologia...
 - Estruturas físicas de interligação dos equipamentos da rede
 - Cada uma apresenta características próprias, com diferentes implicações quanto a...
 - Custo, Confiabilidade, Alcance
 - Tipos mais comuns
 - Malha, Estrela, Anel, Barramento, Híbridas

Como as Redes podem ser Classificadas?

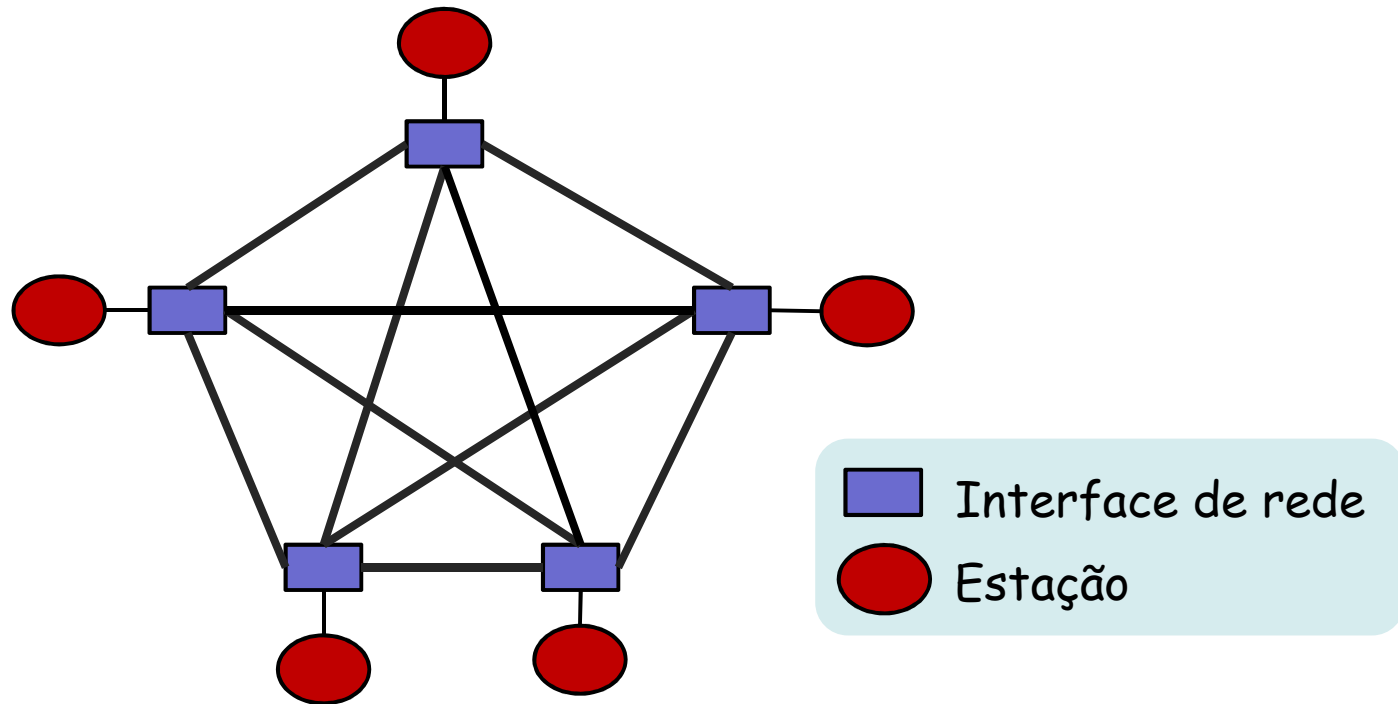
- Malha
 - Usada principalmente em redes de longa distância
 - Em geral as redes locais não usam a topologia em malha
 - Custo associado aos meios físicos é pequeno em redes locais
 - Complexidade da decisão de por onde enviar a mensagem aumenta o custo
 - Armazenamento e processamento de cada mensagem a cada nó intermediário aumenta o atraso e diminui a vazão

Como as Redes podem ser Classificadas?

- Malha
 - Pode ser completa ou irregular

Como as Redes podem ser Classificadas?

- Malha completa
 - Cada estação é conectada a todas as outras estações



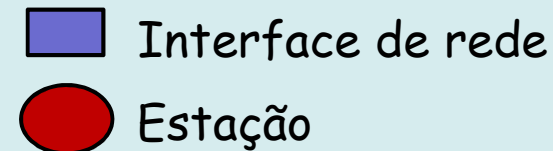
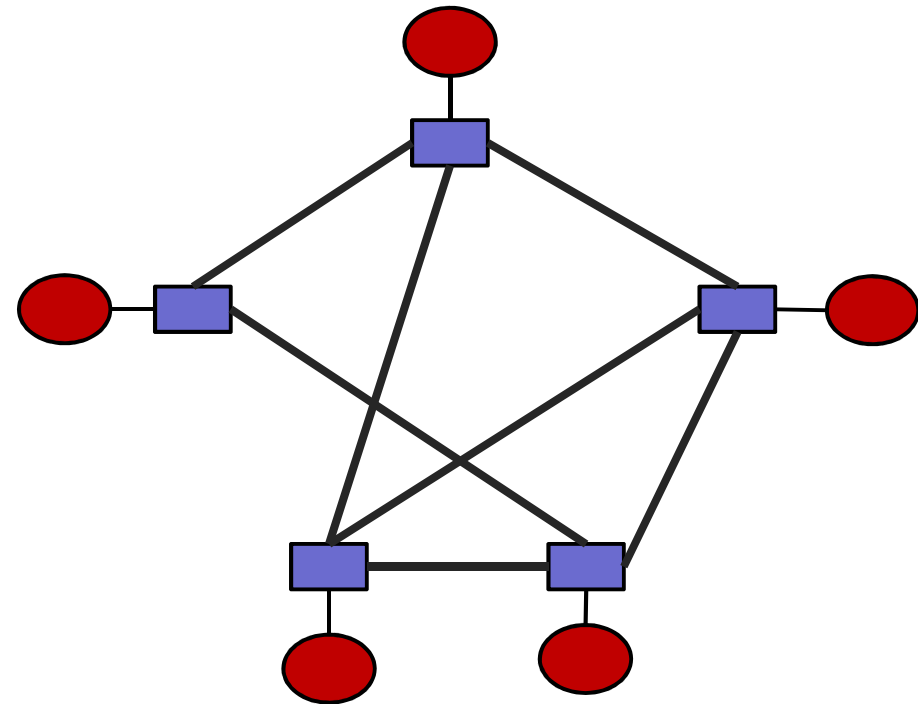
Como as Redes podem ser Classificadas?

- Malha completa
 - Vantagens
 - Não há compartilhamento do meio físico
 - Não há necessidade de decisões de por onde encaminhar a mensagem (roteamento)
 - Desvantagem
 - Grande quantidade de ligações
 - Custo

Como as Redes podem ser Classificadas?

- Malha Irregular

- Topologia mais geral possível
- Cada estação pode ser conectada diretamente a um número variável de estações



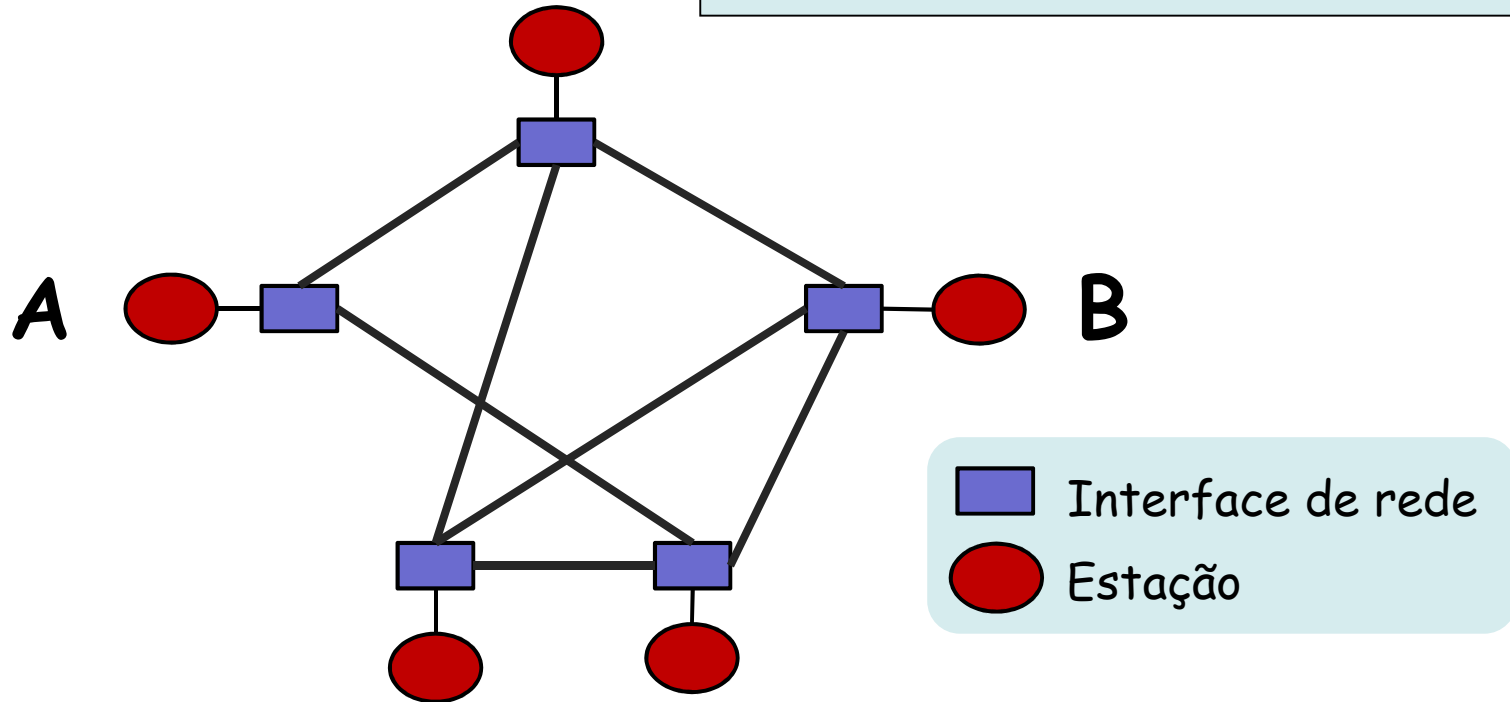
Como as Redes podem ser Classificadas?

- Malha Irregular
 - Vantagem
 - Arranjo de interconexões pode ser feito de acordo com o tráfego
 - Pode escolher por onde enviar a mensagem
 - Para evitar congestionamento
 - Desvantagem
 - Necessita de decisão de encaminhamento

Como as Redes podem ser Classificadas?

- Malha Irregular

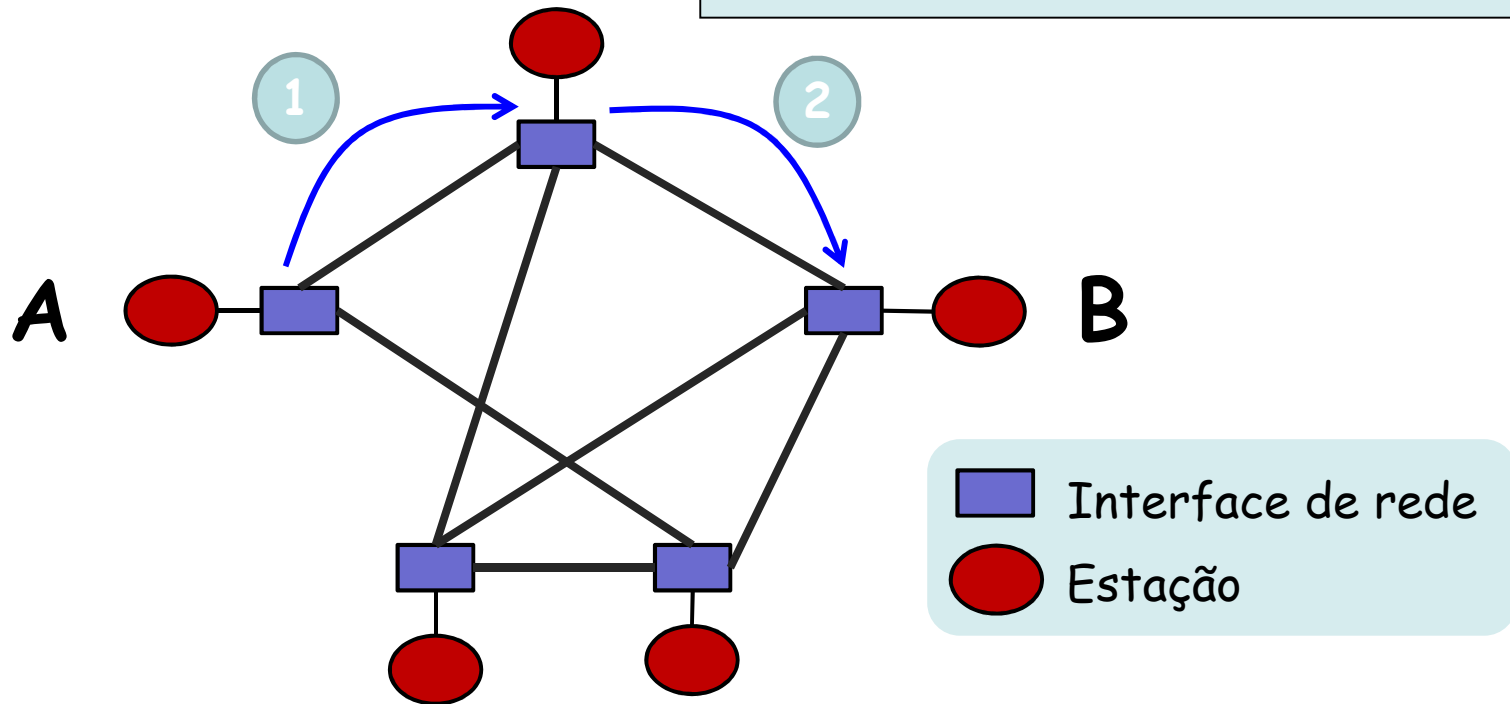
Como A fala com B se não há um enlace direto?



Como as Redes podem ser Classificadas?

- Malha Irregular

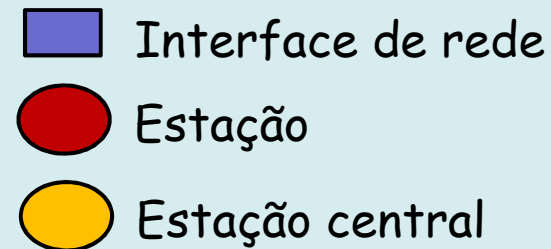
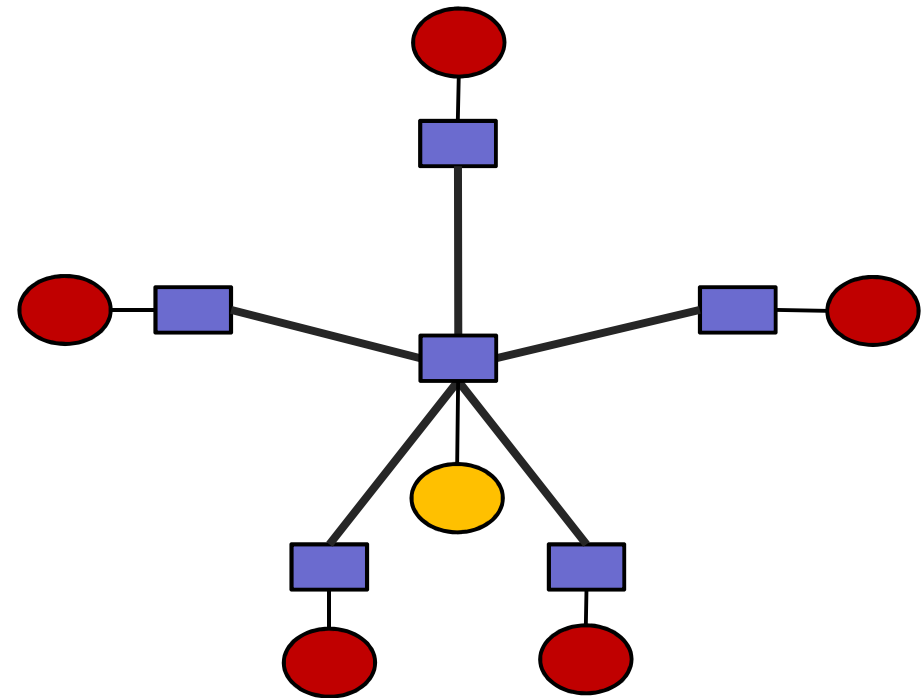
Como A fala com B se não há um enlace direto?



Como as Redes podem ser Classificadas?

- Estrela

- Decisões de encaminhamento centralizadas em um nó
- Cada estação é conectada a esse nó central

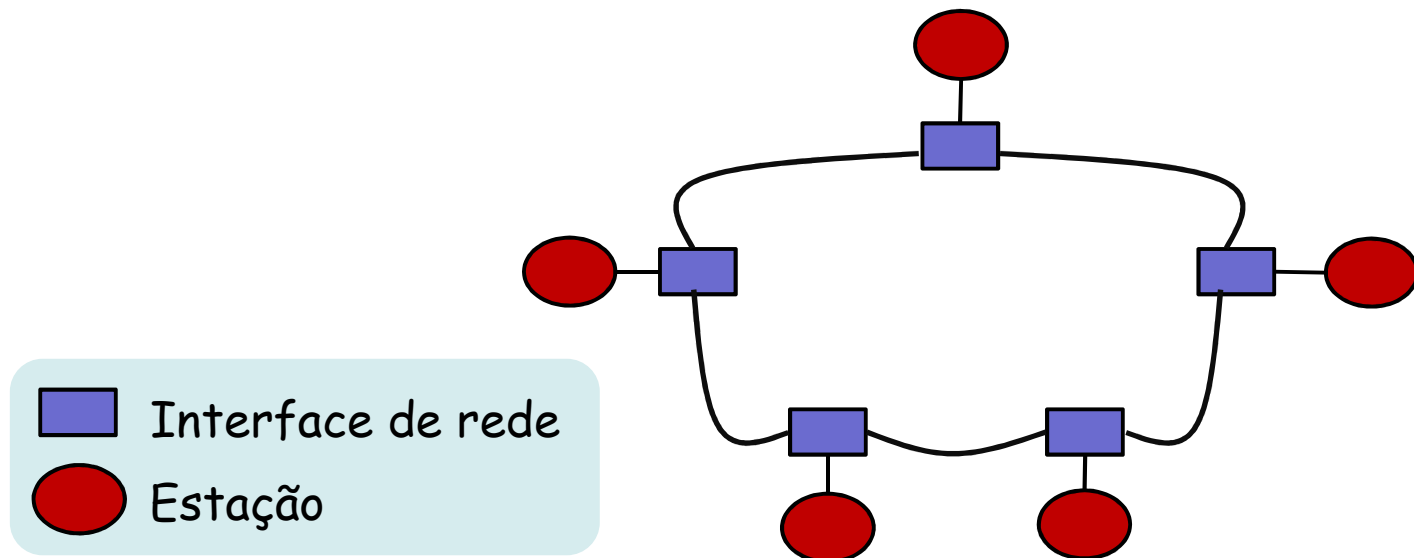


Como as Redes podem ser Classificadas?

- Estrela
 - Vantagem
 - Boa para situações onde o fluxo de informações é centralizado
 - Desvantagens
 - Dependência de um nó centralizado pode ser uma desvantagem quando o fluxo não é centralizado
 - Problema de confiabilidade no nó central
 - Usada principalmente em redes locais

Como as Redes podem ser Classificadas?

- Anel
 - Mensagens circulam nó-a-nó até o destino
 - Tem de reconhecer o próprio nome (endereço) nas mensagens e copiar as que lhe são destinadas



Como as Redes podem ser Classificadas?

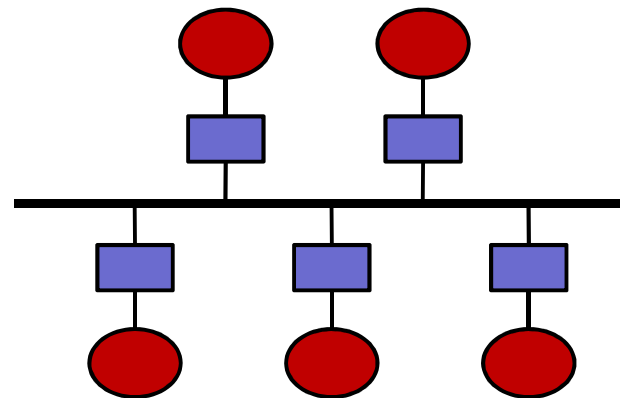
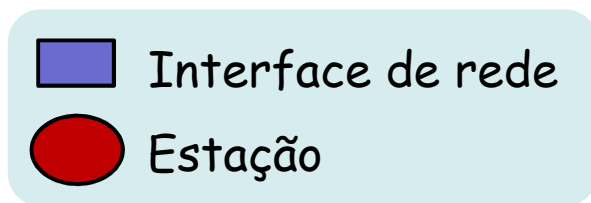
- Anel
 - Vantagens
 - Boa para situações onde o fluxo de informações não é centralizado
 - Não há necessidade de decisões de encaminhamento
 - Como não há armazenamento intermediário, pode-se obter um melhor desempenho de atraso e vazão

Como as Redes podem ser Classificadas?

- Anel
 - Desvantagens
 - Necessita de mecanismos de acesso ao meio compartilhado
 - Confiabilidade da rede depende da confiabilidade individual dos nós intermediários
 - Usada principalmente em redes locais

Como as Redes podem ser Classificadas?

- Barramento
 - Mensagens transferidas sem a participação dos nós intermediários
 - Todas as estações "escutam" as mensagens
 - Necessidade de reconhecer o próprio nome (endereço)



Como as Redes podem ser Classificadas?

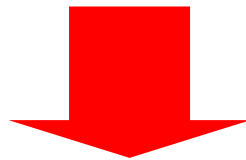
- Barramento
 - Vantagens
 - Não há necessidade de decisões de encaminhamento
 - Como não há armazenamento intermediário, pode-se obter um melhor desempenho em termos de atraso e vazão

Como as Redes podem ser Classificadas?

- Barramento
 - Desvantagem
 - **Necessita de mecanismos de acesso ao meio compartilhado**
 - Usada principalmente em redes locais

Como as Redes podem ser Classificadas?

- Topologias híbridas
 - Existem ainda as configurações híbridas
 - Anel-estrela
 - Barramento-estrela
 - Estrela-anel
 - Árvore de barramentos

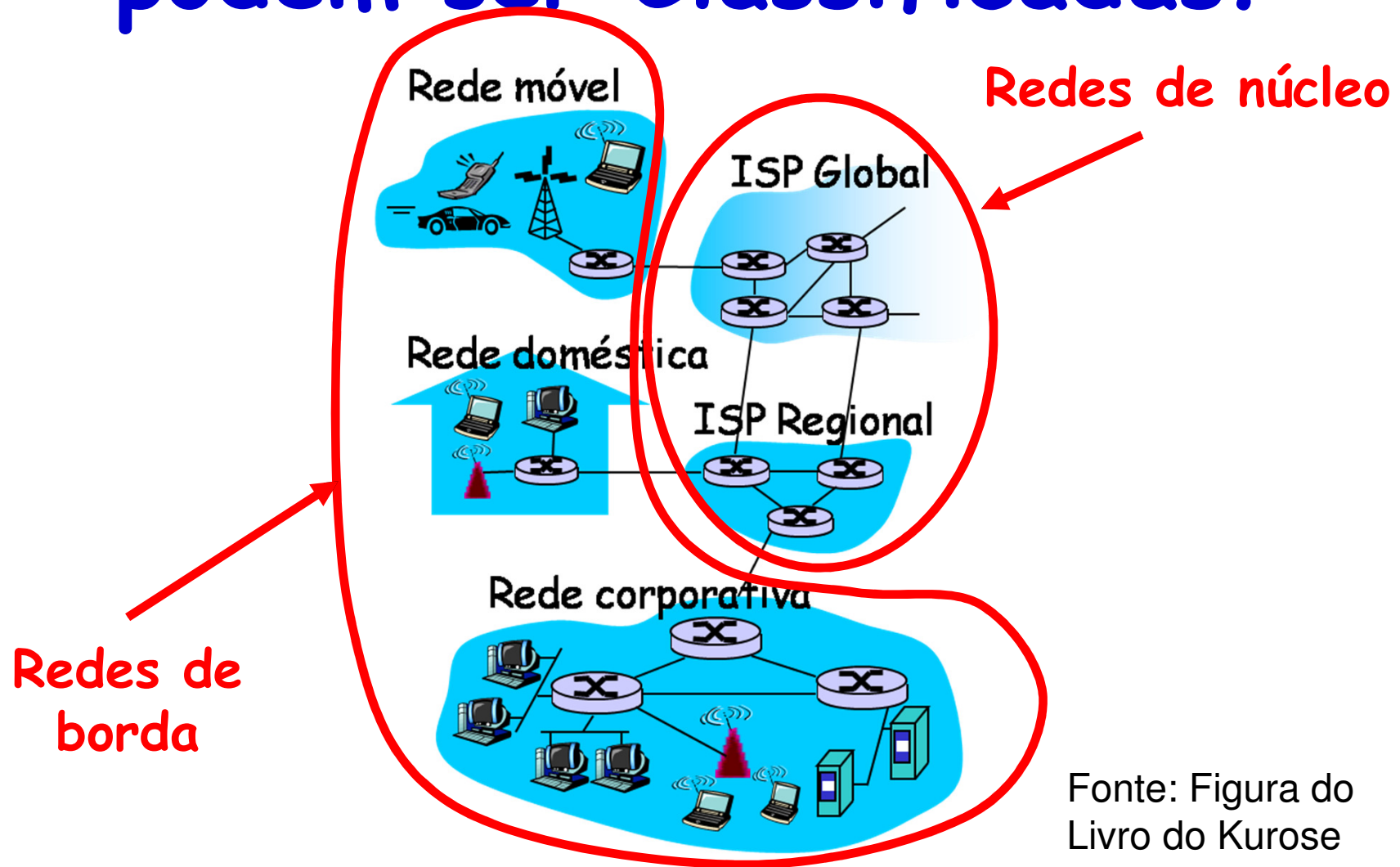


E a Internet, como poderia ser classificada?

Como as Redes na Internet podem ser Classificadas?

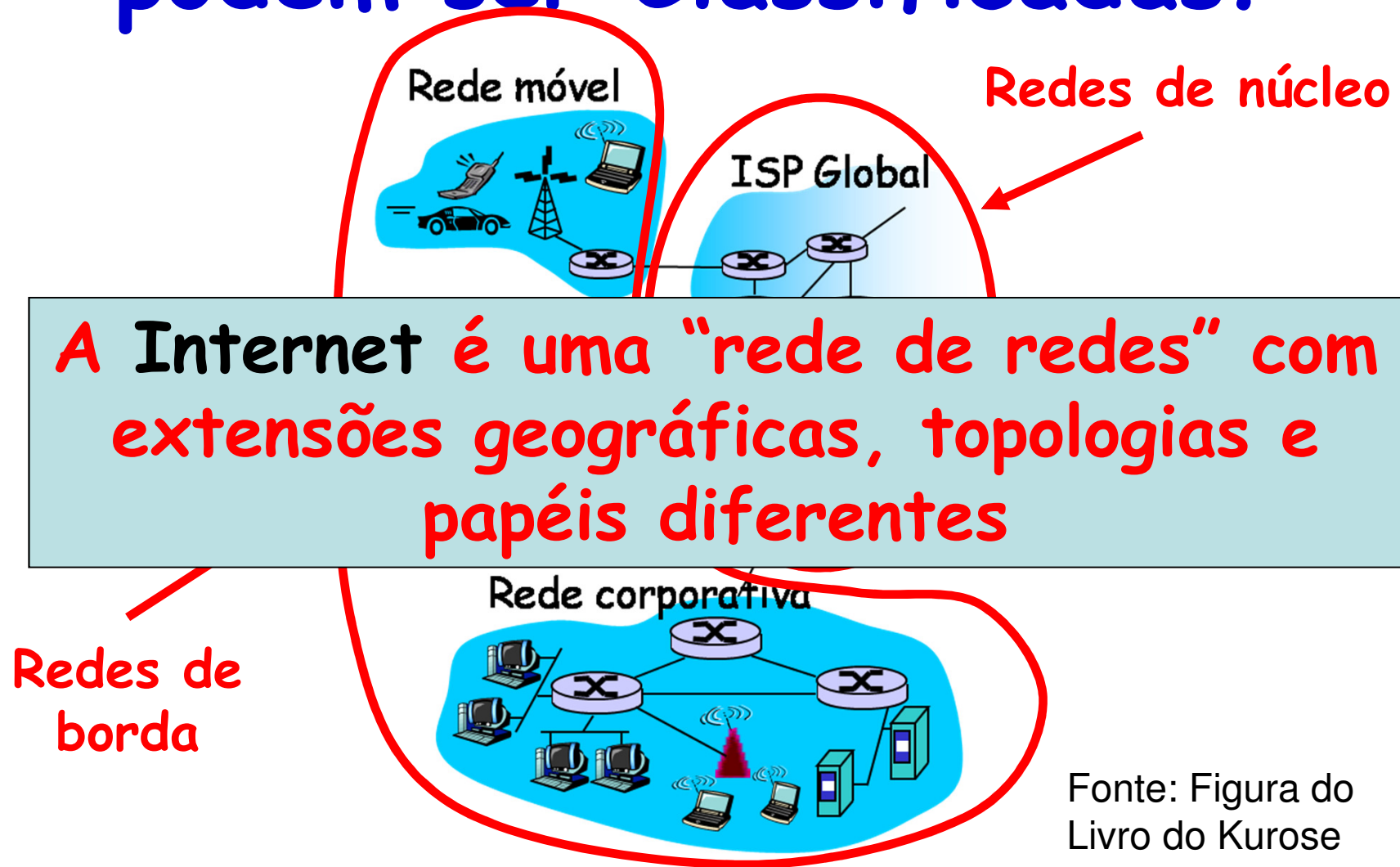
- Rede complexa que combina outras redes:
 - Com diferentes extensões geográficas
 - Com diferentes topologias
- Muitas vezes, as redes são classificadas conforme o seu papel funcional
 - Redes de borda (ou redes periféricas)
 - **Sistemas finais e redes de acesso**
 - Redes de núcleo (ou redes de provedores de serviço)
 - **Roteadores e redes dorsais (*backbones*)**

Como as Redes na Internet podem ser Classificadas?



Fonte: Figura do Livro do Kurose

Como as Redes na Internet podem ser Classificadas?



Fonte: Figura do Livro do Kurose

Complexidade da Internet

- A Internet possui:
 - Muitos nós
 - Muitas aplicações com diferentes requisitos
 - Muitas tecnologias de rede
 - Muitos meios físicos
 - Etc.

Serviços da Internet

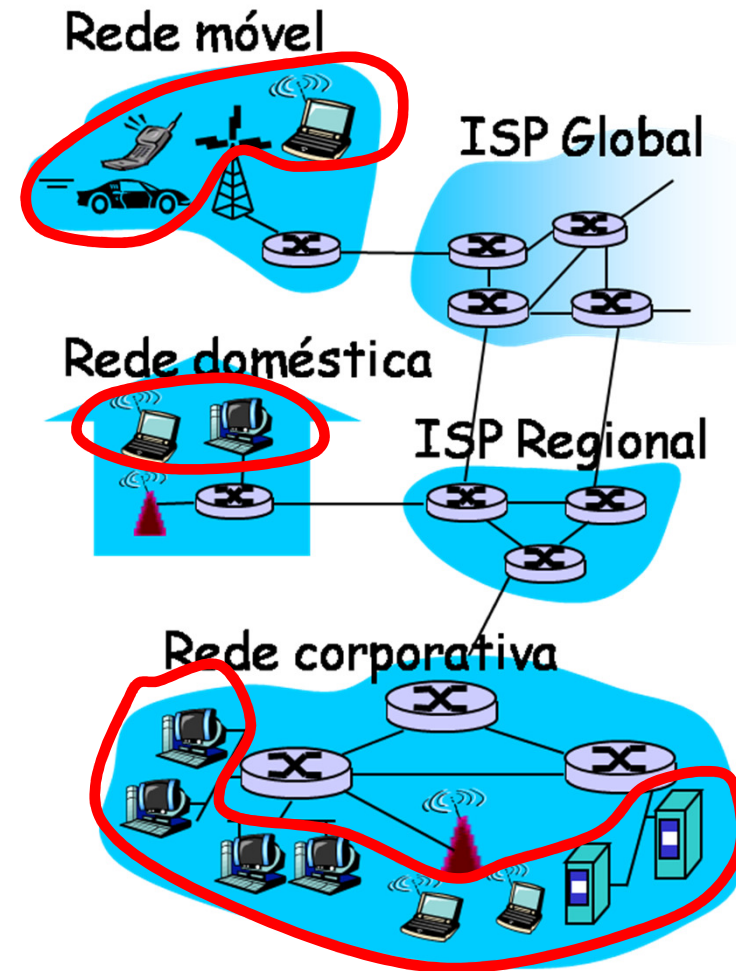
- A Internet é uma infraestrutura de comunicação que provê serviços para aplicações
 - Basta que a aplicação siga um conjunto de regras
- Aplicações distribuídas
 - Web, e-mail, jogos, mensagens instantâneas, voz sobre IP (VoIP), compartilhamento de arquivos, etc.
- Serviços de comunicação de dados disponibilizados
 - Transferência confiável da origem até o destino
 - Transferência "melhor esforço" (não confiável)

Redes de Borda

Estações finais e redes de acesso

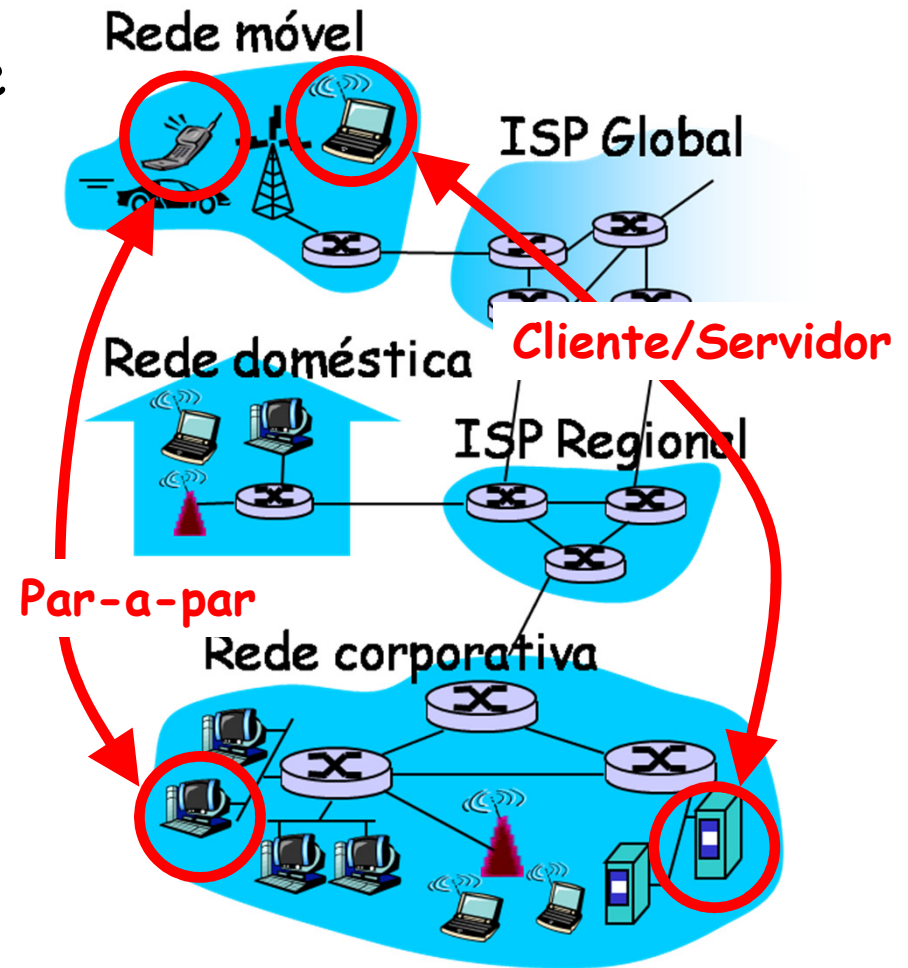
Redes de Borda

- Estações hospedeiras (*hosts*) ou sistemas finais
 - Sistemas finais: Encontram-se na borda da rede
 - Podem ser tanto clientes quanto servidores
 - Hospedeiros: Executam os programas de aplicação
 - ex., WWW, email



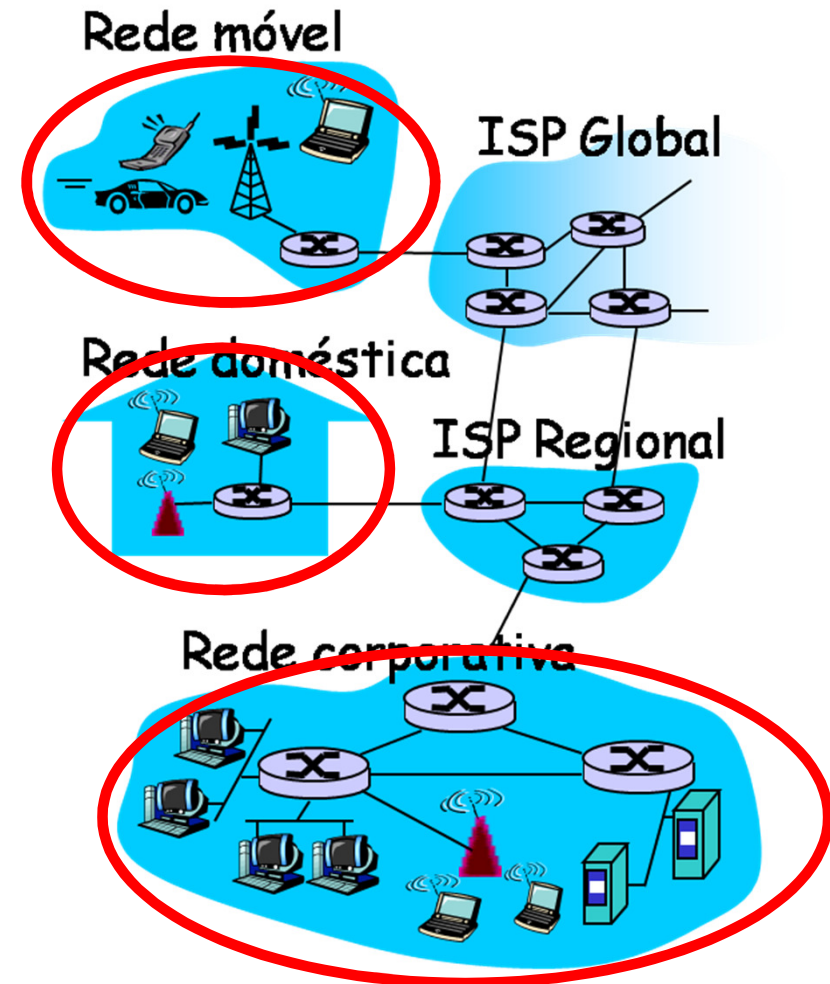
Redes de Borda

- Modelo de comunicação entre estações finais:
 - Modelo cliente/servidor
 - Cliente faz pedidos que são atendidos pelos servidores
 - Ex.: cliente Web (browser)/servidor e cliente/servidor de e-mail
 - Modelo par-a-par (P2P)
 - Uso mínimo (ou nenhum) de servidores dedicados
 - Ex.: Skype, BitTorrent



Redes de Borda

- Redes de acesso
 - Conectam um sistema final ao primeiro roteador (roteador de borda)
 - Redes domiciliares
 - Redes de acesso corporativo
 - Redes de ensino e pesquisa
 - Redes de universidades
 - Etc.



Acesso Ponto-a-Ponto

- Acesso discado via modem (*dialup*)
 - Acesso ao roteador do provedor de serviço em até 56 kb/s
 - Não é possível acessar a Internet e telefonar ao mesmo tempo
- DSL (*Digital Subscriber Line*)
 - Banda de até algumas dezenas de MHz
 - Algumas tecnologias possibilitam o uso da linha telefônica em paralelo
 - Taxas de até dezenas de Mb/s

Redes Sem-Fio

- Tecnologia muito popular
 - Facilidade de instalação
 - Baixo custo
- Mobilidade
- Problema de segurança

Redes Sem-Fio

- Propagação do sinal pelo ar
 - Atenuação significativa
 - Características do canal podem variar
 - Condições do tempo
 - Número de obstáculos entre o emissor e o receptor
 - Múltiplos caminhos
 - Ambiente hostil
 - Taxa de erro binária bem maior do que em uma rede Ethernet

Redes Sem-Fio

- Ethernet
 - Colisões detectadas
- Redes sem-fio
 - Não usam detecção de colisão como no CSMA/CD
 - Grande diferença da potência entre o sinal transmitido e o sinal recebido
 - Difícil separação de sinal e ruído
 - Difícil separação do que é transmissão e o que é recepção no transmissor
 - Nem todas as estações escutam as outras
 - Atenuação grande e variável
 - Terminal escondido

Redes Domiciliares

- Definição
 - "Sistema de comunicação que visa a interconexão de dispositivos encontrados em residências e que tem como objetivo a comunicação, o conforto, a economia de energia, a segurança, a assistência e o lazer"
- Duas correntes representadas por
 - Nova revolução através da automação residencial
 - Ex.: Casa inteligente (Jetsons)
 - Robôs, dispositivos ativados por comandos de voz etc.
 - Benefícios mais imediatos e práticos
 - Ex.: Compartilhamento de arquivos, recursos etc.

Dispositivos Conectados

- Atualmente...
 - Computadores pessoais e seus periféricos
 - Televisores, aparelhos de DVD/BluRay, telefones e outros eletrodomésticos
 - Sensores e câmeras
- No futuro
 - Inteligência embarcada para compartilhamento de dados a alta velocidade
 - **Cidades Inteligentes e Internet das Coisas**

Aplicações de Redes Domiciliares

- Monitoramento, automação e controle
- Compartilhamento de equipamentos, recursos e **acesso à Internet**
- Comunicação
- Entretenimento

Tecnologias de Redes Domiciliares

- Diversos produtos e tecnologias ofertados para oferecer recursos de rede e acesso à Internet
 - Diferentes requisitos de aplicações de redes domiciliares
 - Difícil prever qual solução melhor se adapta às redes domiciliares
- Três tipos de redes
 - Com fio
 - Sem fio
 - Sem novos fios

Tecnologias de Redes Domiciliares

- Com fio
 - Ethernet é a solução convencional
 - Maioria das casas não possui o cabeamento necessário
 - Custo de instalação do cabeamento é alto
- Sem fio
 - Enorme sucesso comercial
 - Problemas de desempenho, cobertura, garantia de qualidade de serviço e segurança

Tecnologias de Redes Domiciliares

- Sem novos fios
 - Uso de uma infraestrutura já existente
 - TV a cabo
 - *Home Cable Network Alliance* criada em 2001
 - Falta de previsão para a criação de um padrão para redes domiciliares
 - Telefônica
 - *Home Phoneline Alliance* criada em 1998
 - Padrão HomePNA
 - Elétrica
 - *HomePlug Powerline Alliance* criada em 2000
 - Padrão HomePlug

Redes de Núcleo

Sistema Autônomos (ASes)

- Conjunto de redes e roteadores administrados por um grupo ou uma instituição comum
 - Cada instituição escolhe o seu próprio protocolo de roteamento interno
 - **Protocolo intradomínio**
 - Todas as instituições executam o mesmo protocolo de roteamento externo
 - **Protocolo interdomínio**

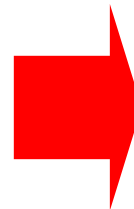
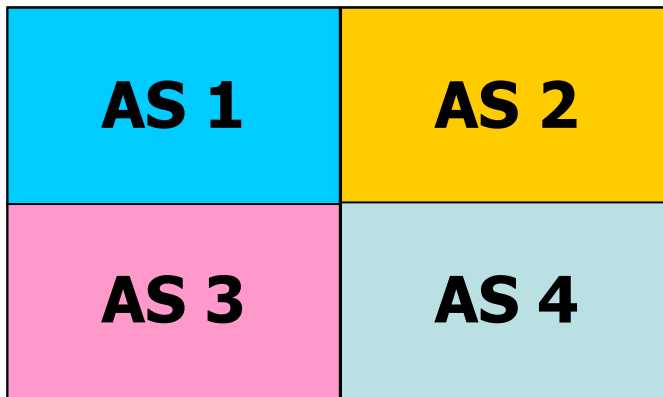


O uso de um protocolo interdomínio comum é um requisito para que todos os Sistemas Autônomos mantenham conectividade

Crescimento da Internet

- A Internet cresceu aceleradamente
 - Maior complexidade de gerenciamento e administração
 - Atualizações de topologia se tornaram mais frequentes

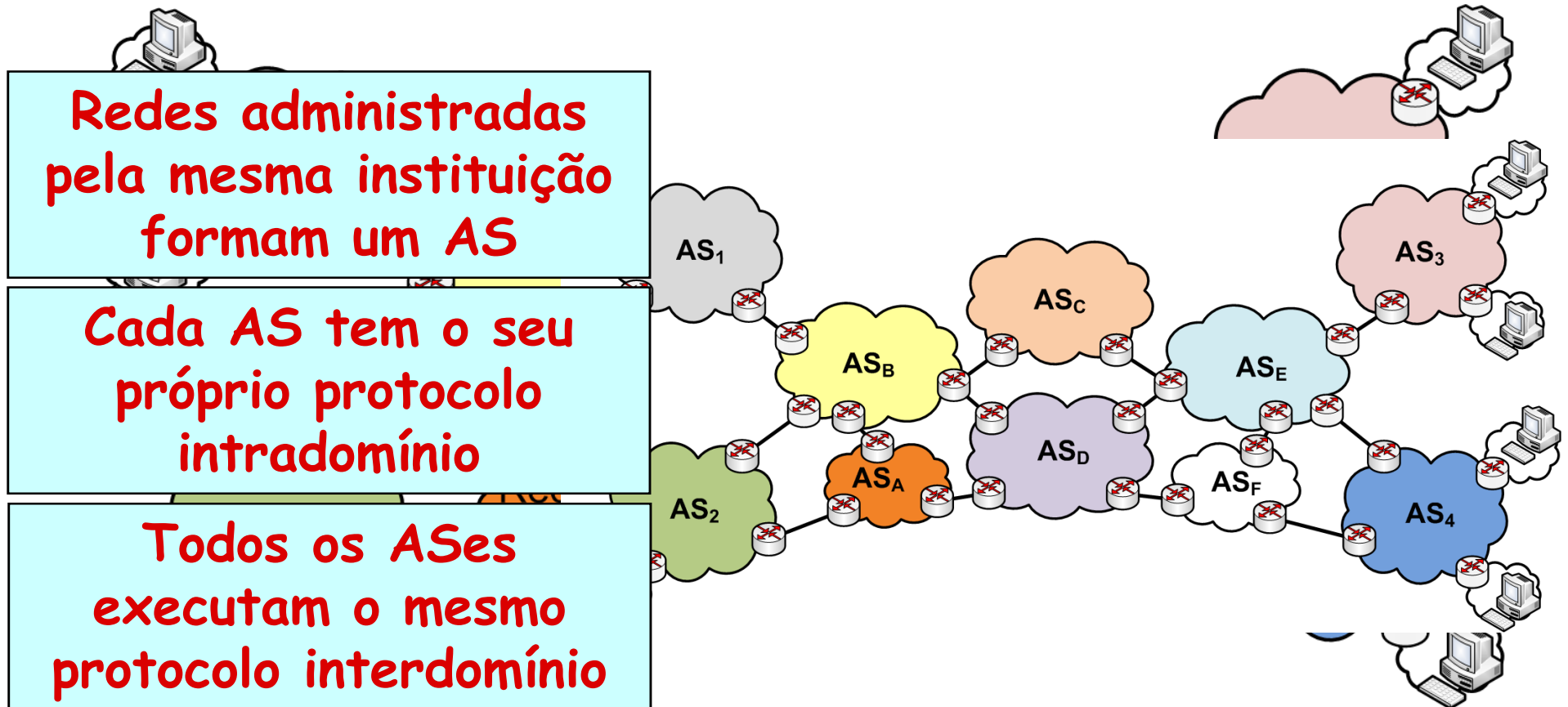
Internet



A Internet foi dividida em diferentes Sistemas Autônomos (AS - *Autonomous System*)

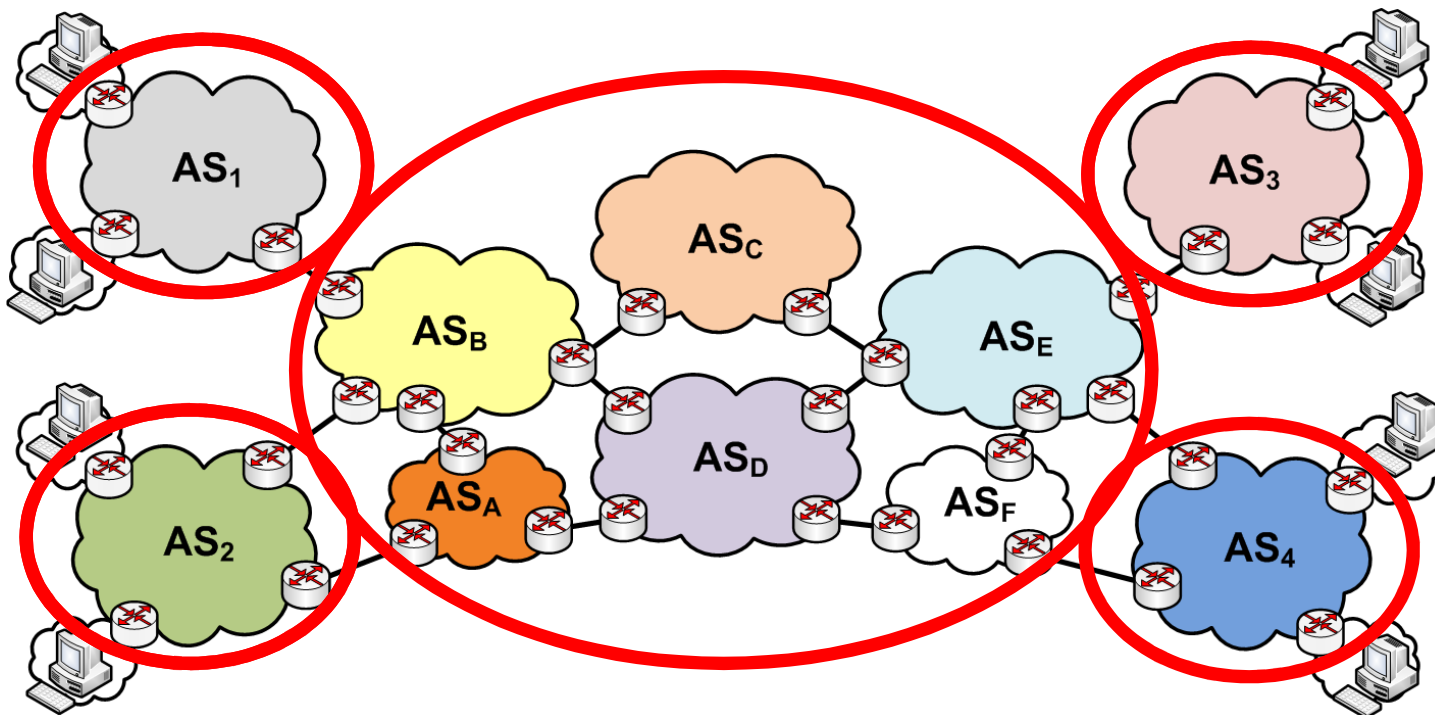
Internet: "Rede de Redes"

- Composta por diferentes redes interconectadas
 - Protocolo de interconexão: **IP**



Classificação dos ASes

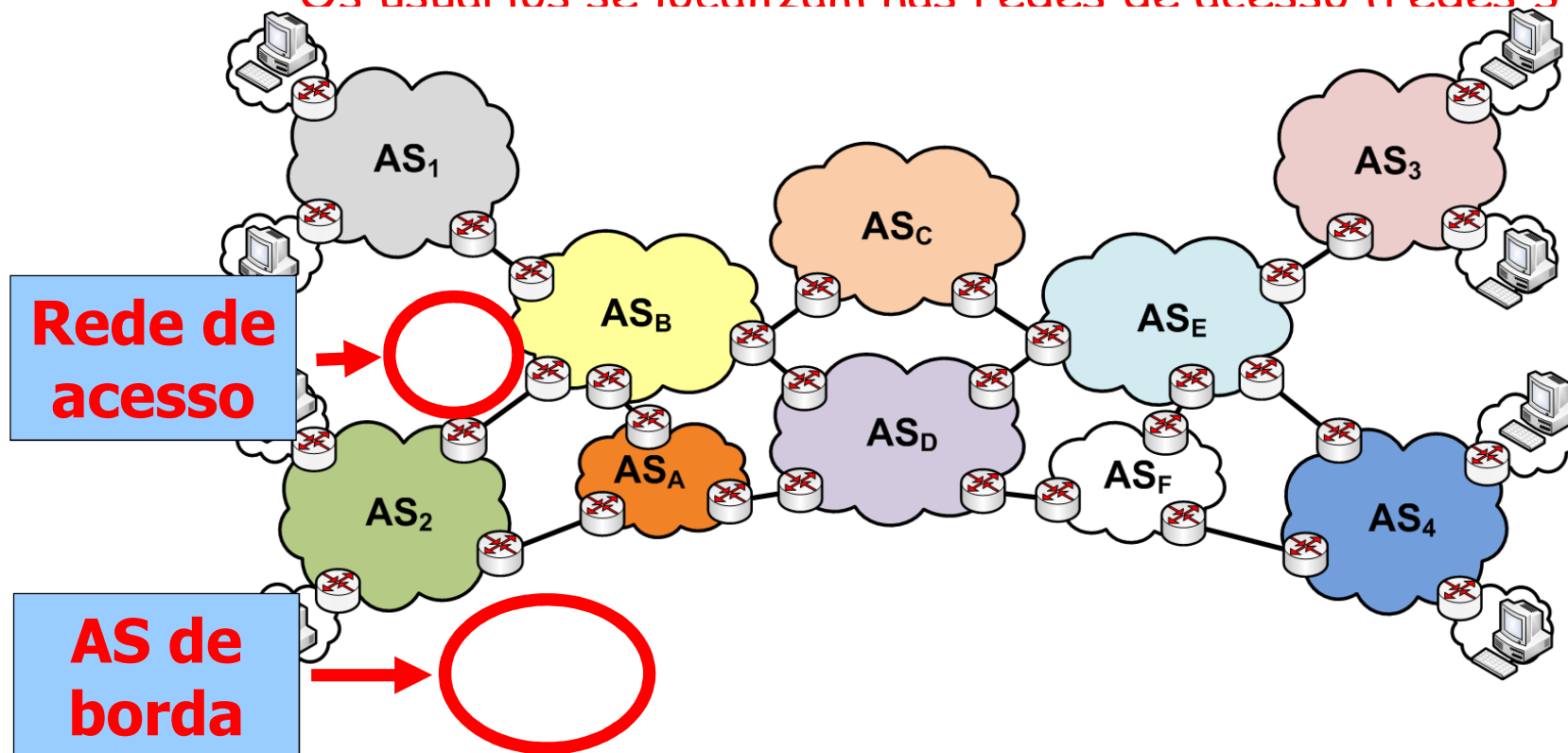
- Feita a partir da posição na topologia da Internet



ASes ASes que não estão conectados a usuários → ASes de trânsito

Classificação dos ASes

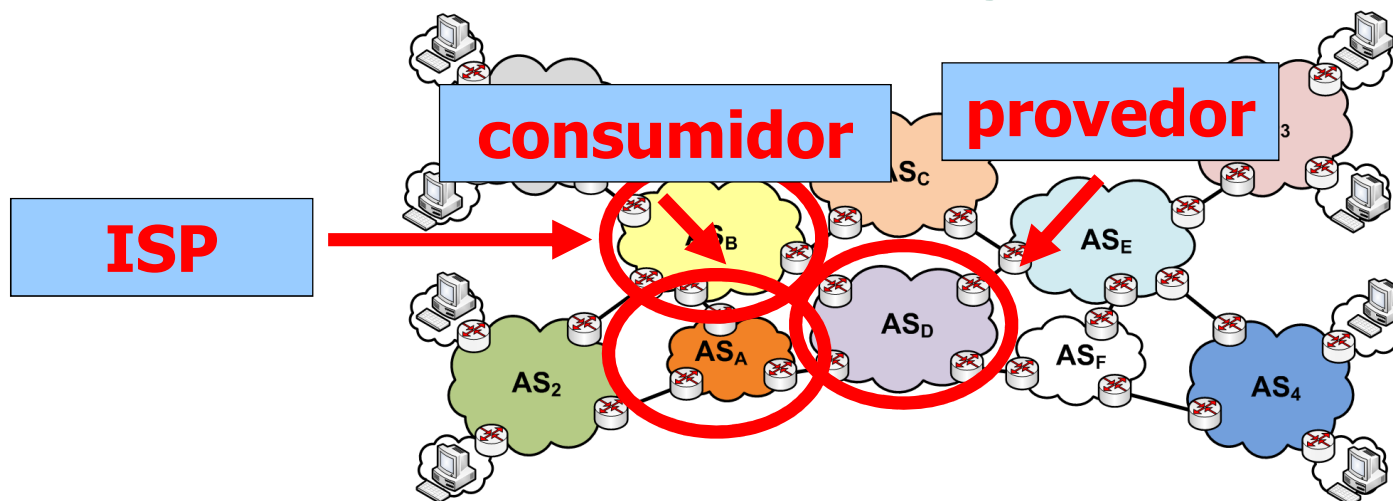
- ASes de borda ou provedores de acesso
 - Tarifam os usuários pelo acesso à Internet
 - Os usuários se localizam nas redes de acesso (redes stub)



Classificação dos ASes

- ASes de trânsito
 - Não estão diretamente conectados a usuários
 - Encaminham dados entre ASes
 - Os ASes estabelecem acordos comerciais com os seus vizinhos
 - Responsáveis pelos ASes → ISP (*Internet Service Provider*)

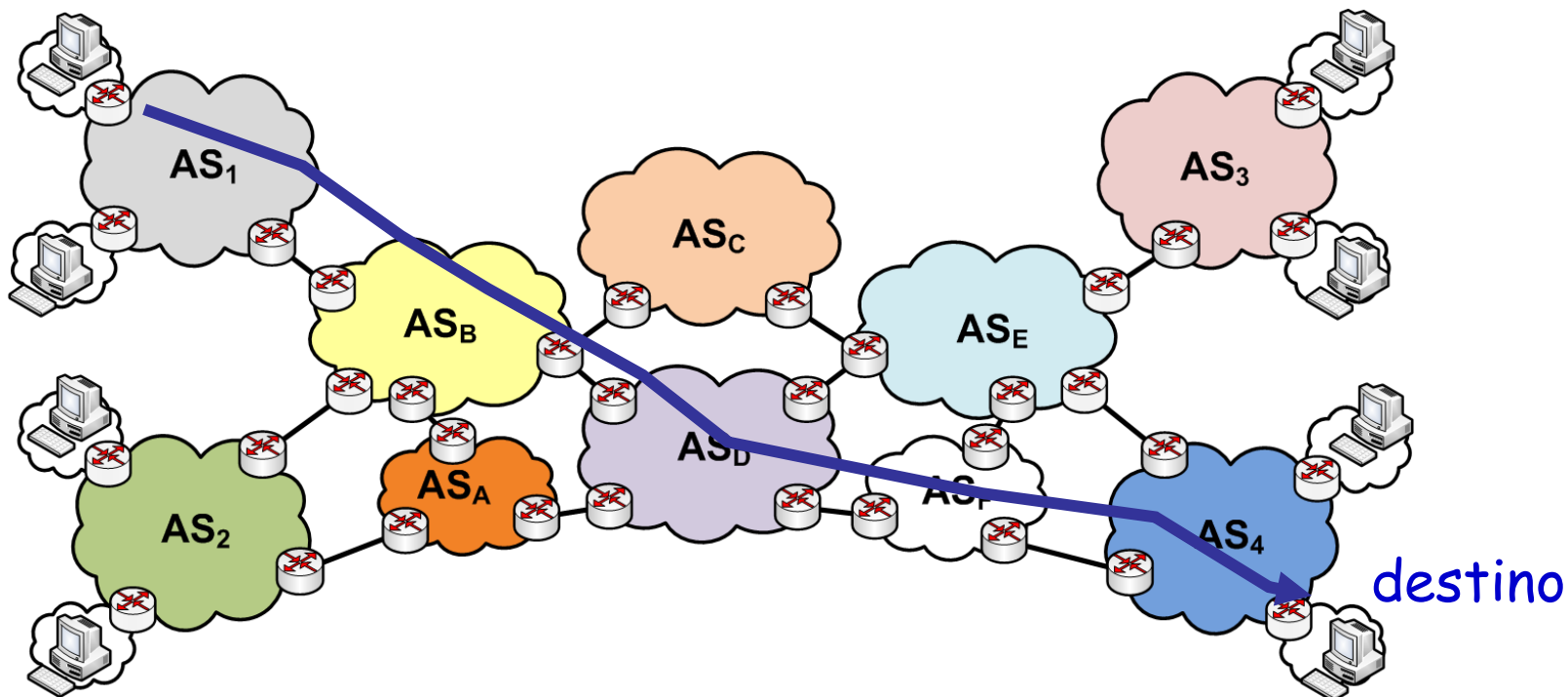
“peering”



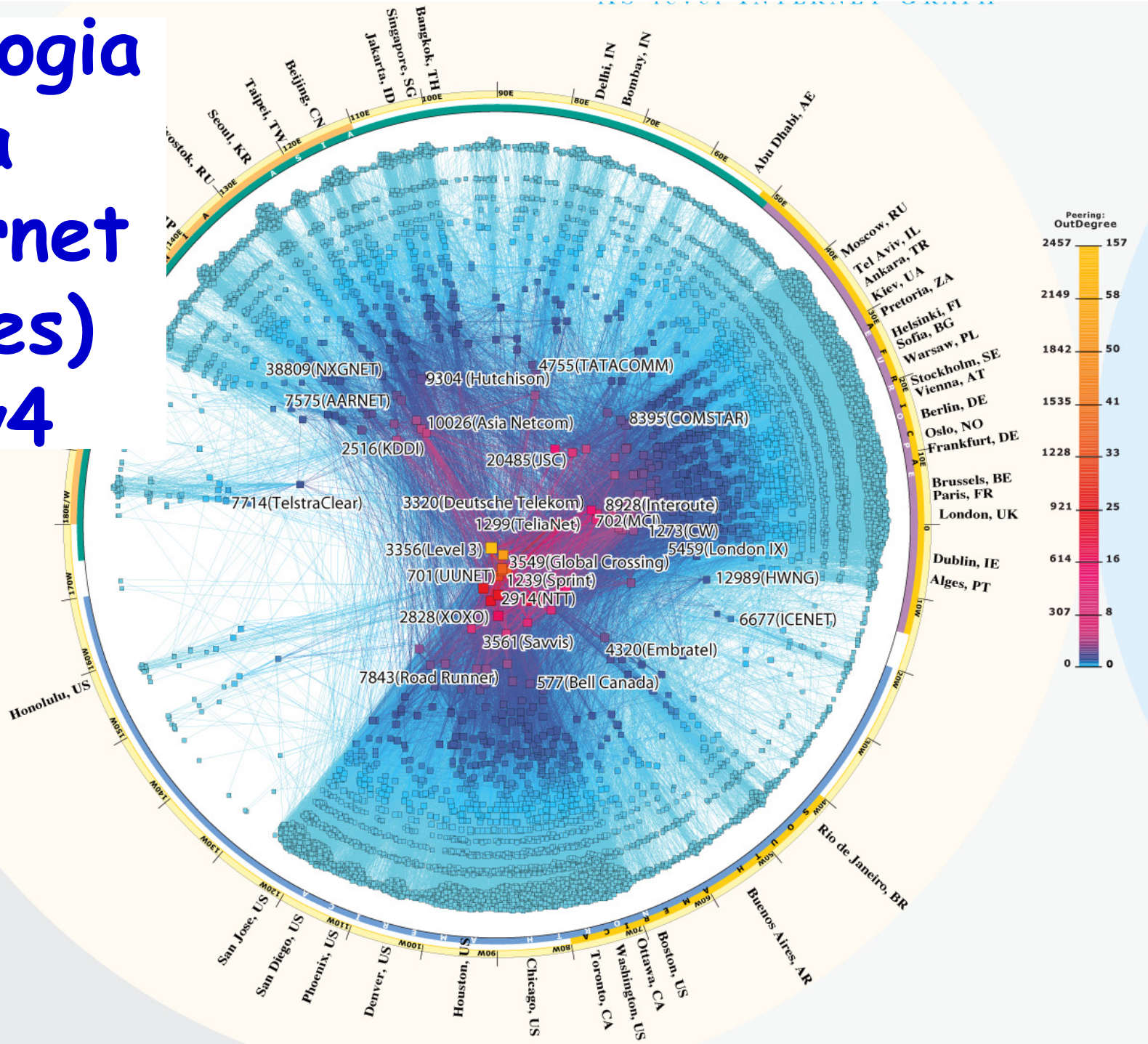
"Rede de Redes"

Um pacote atravessa diferentes redes

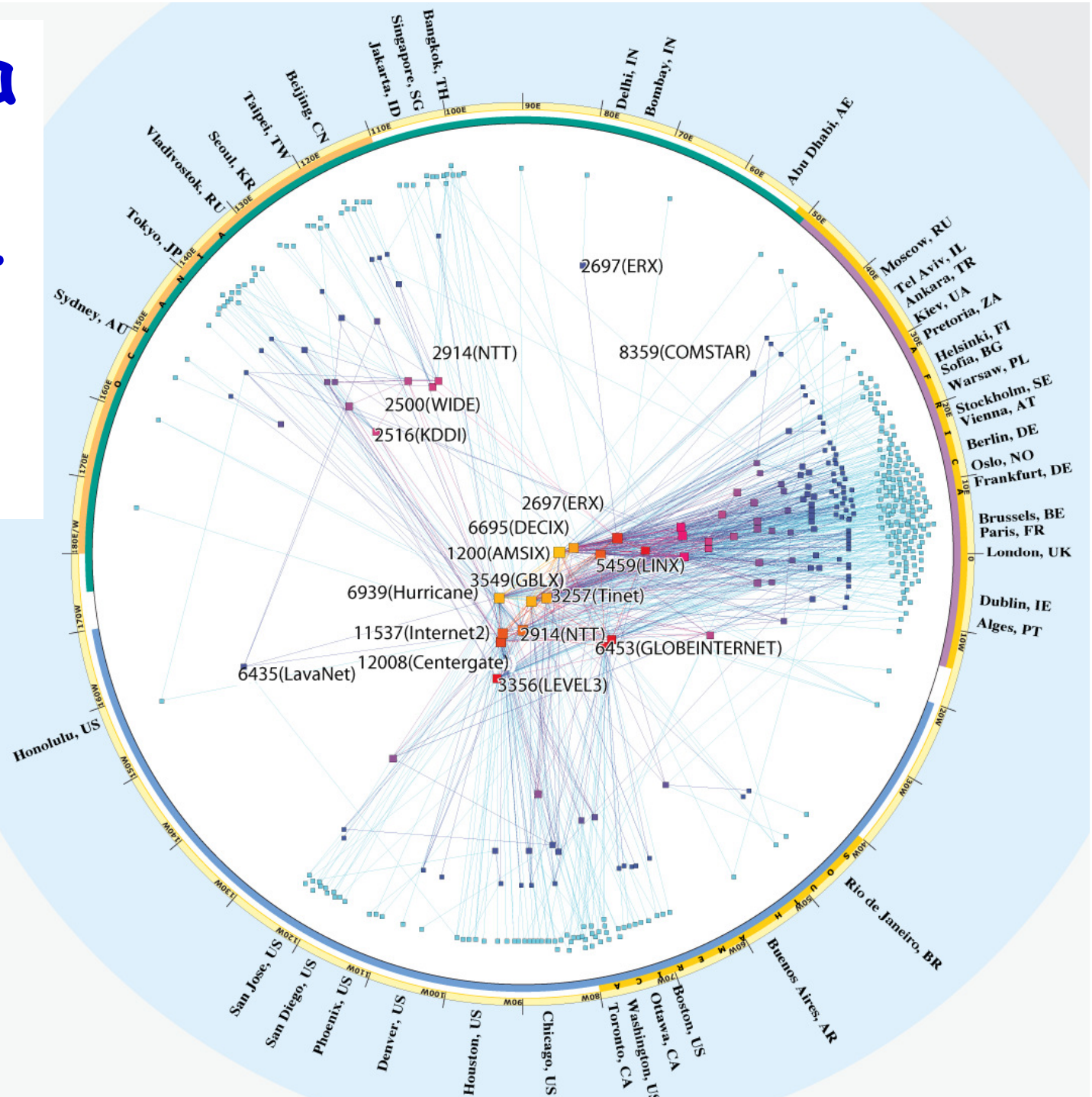
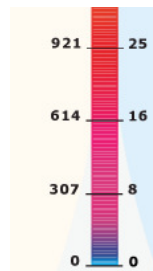
origem



Topologia da Internet (ASes) IPv4

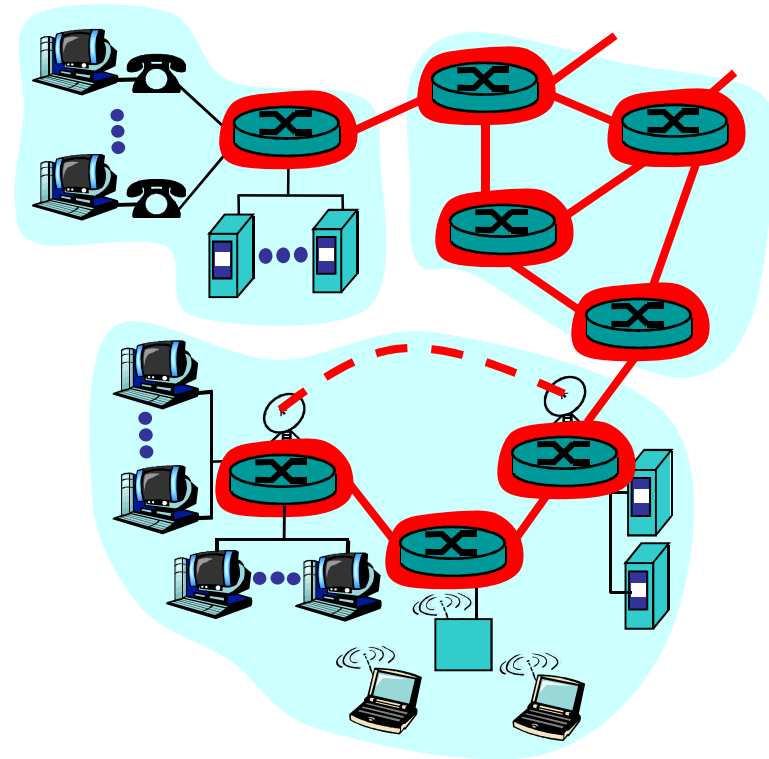


Topologia da Internet (ASes) IPv6



Transferência de Dados

- Núcleo da rede
 - Malha de roteadores interconectados
- Como os dados são transferidos através da rede?
 - Comutação de circuitos
 - Circuito dedicado por chamada: rede telefônica
 - Comutação de pacotes
 - Dados são enviados através da rede em pedaços discretos



Transferência de Dados

- Núcleo da rede
 - Malha de roteadores interconectados
- Como os dados são transferidos através da rede?
 - Comutação de circuitos
 - Circuito dedicado
 - Chamada telefônica
 - Comutação de pacotes
 - Dados são enviados através da rede em pedaços discretos



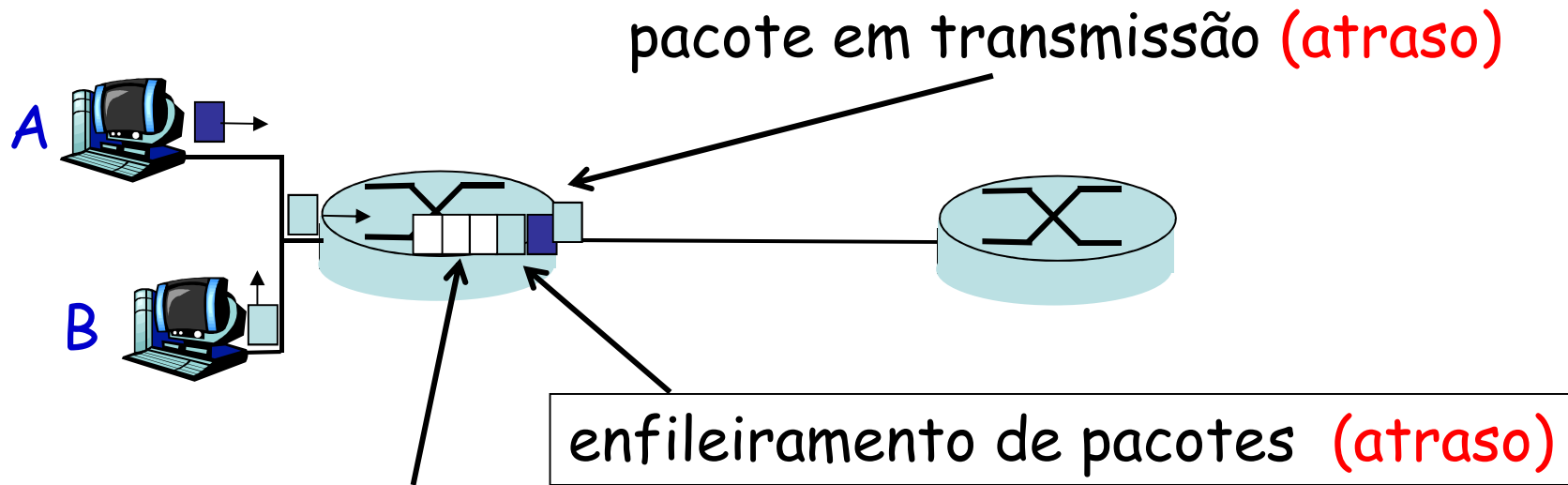
Métricas

Avaliação do desempenho de uma rede

Como Ocorrem Perdas e Atrasos?

- Pacotes são enfileirados nos *buffers* de um elemento encaminhador (ex. roteador)
 - Taxa de chegada ao elemento encaminhador é maior do que a capacidade de encaminhamento
 - Enlace de saída tem largura de banda menor que a necessária
 - Congestionamento na rede do enlace de saída
 - Problemas no hardware do encaminhador
- Caso os pacotes sejam enfileirados:
 - Eles devem esperar a vez

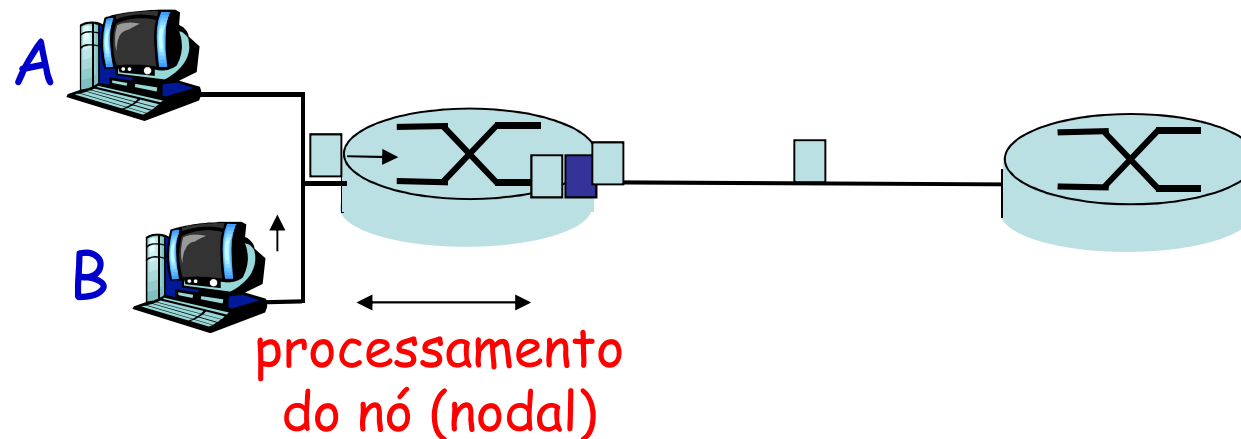
Como Ocorrem Perdas e Atrasos?



buffers livres (disponíveis): pacotes que chegam são descartados (*perda*) se não houver *buffers* livres

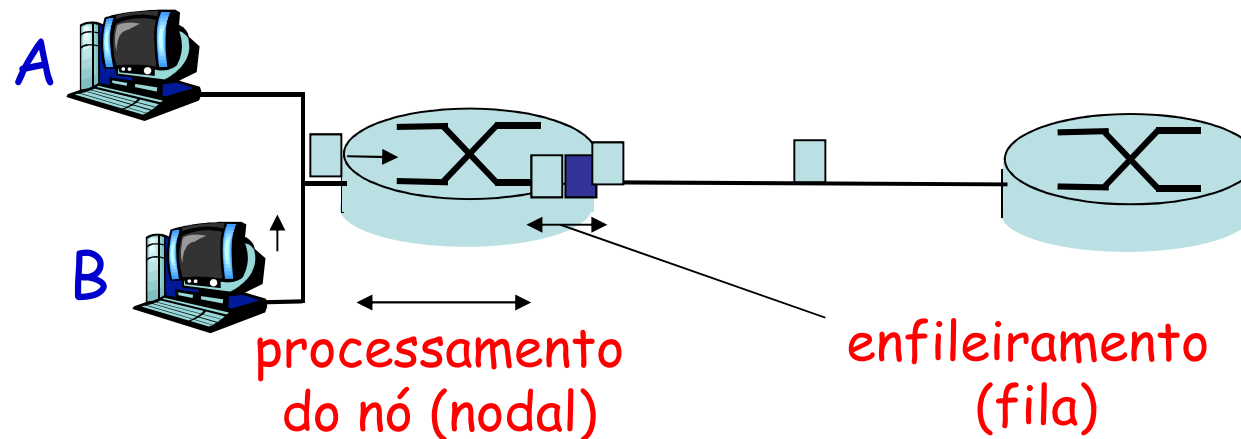
Quatro Fontes de Atraso de Pacotes

- 1. Processamento do nó
 - Verificação de bits errados
 - Identificação do enlace de saída



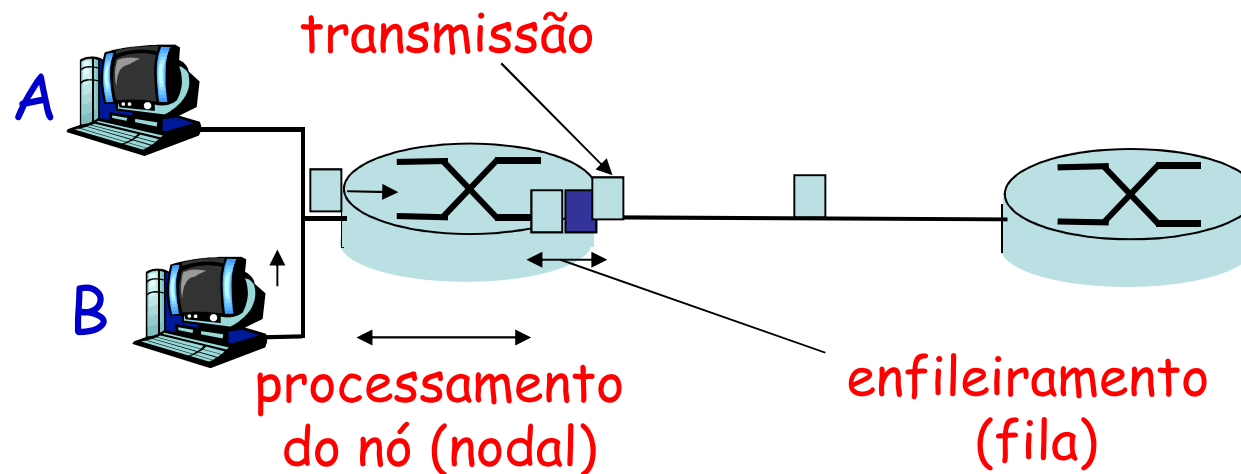
Quatro Fontes de Atraso de Pacotes

- 2. Enfileiramento
 - Tempo de espera no enlace de saída até a transmissão
 - Depende do nível de congestionamento do roteador



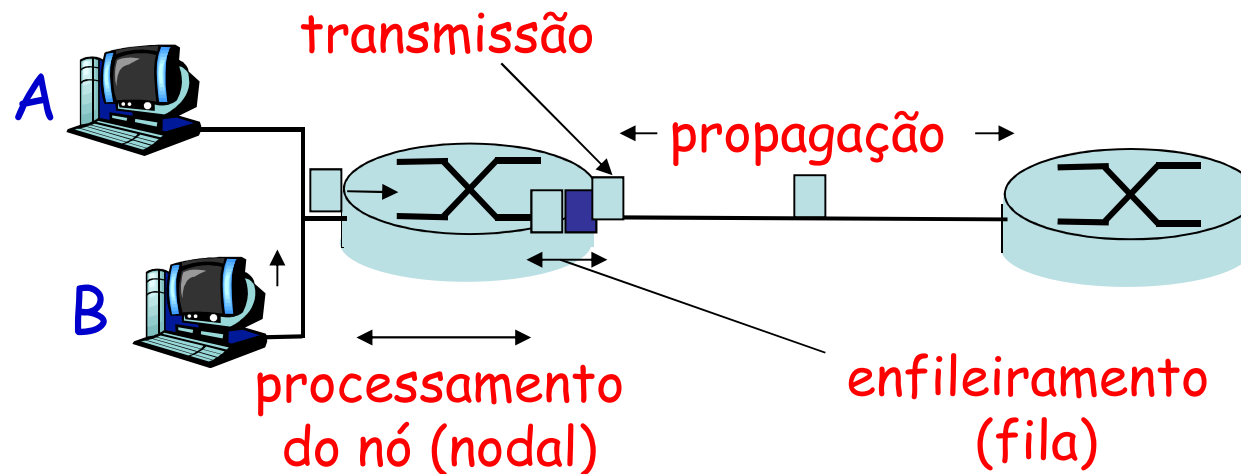
Quatro Fontes de Atraso de Pacotes

- 3. Atraso de transmissão
 - R = largura de banda do enlace (bits/s)
 - L = comp. do pacote (bits)
 - tempo para enviar os bits no enlace = L/R



Quatro Fontes de Atraso de Pacotes

- 4. Atraso de propagação
 - d = comprimento do enlace
 - s = vel. de propagação no meio ($\sim 2 \times 10^8$ m/s)
 - atraso de propagação = d/s



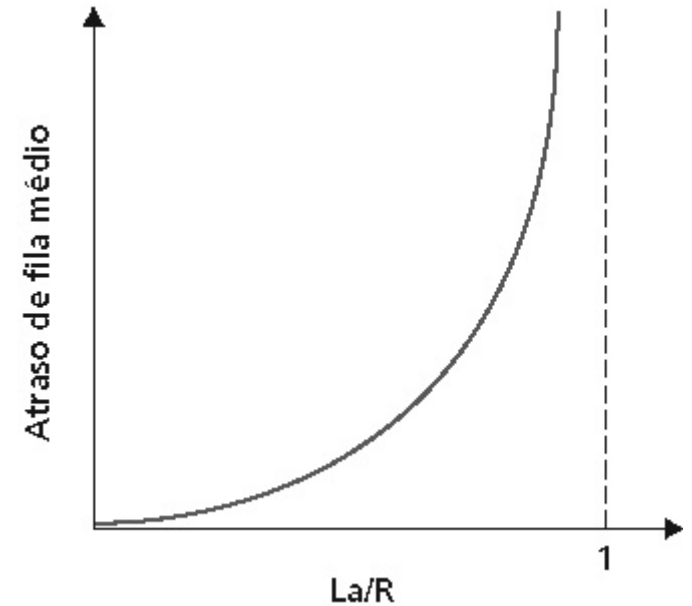
Atraso por Nó

$$d_{\text{nó}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{fila}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

- d_{proc} = atraso de processamento
 - Tipicamente de poucos microsecs ou menos
- d_{fila} = atraso de enfileiramento
 - Depende do congestionamento
- d_{trans} = atraso de transmissão
 - L/R , significativo para canais de baixa velocidade
- d_{prop} = atraso de propagação
 - Poucos microsecs a centenas de msecs

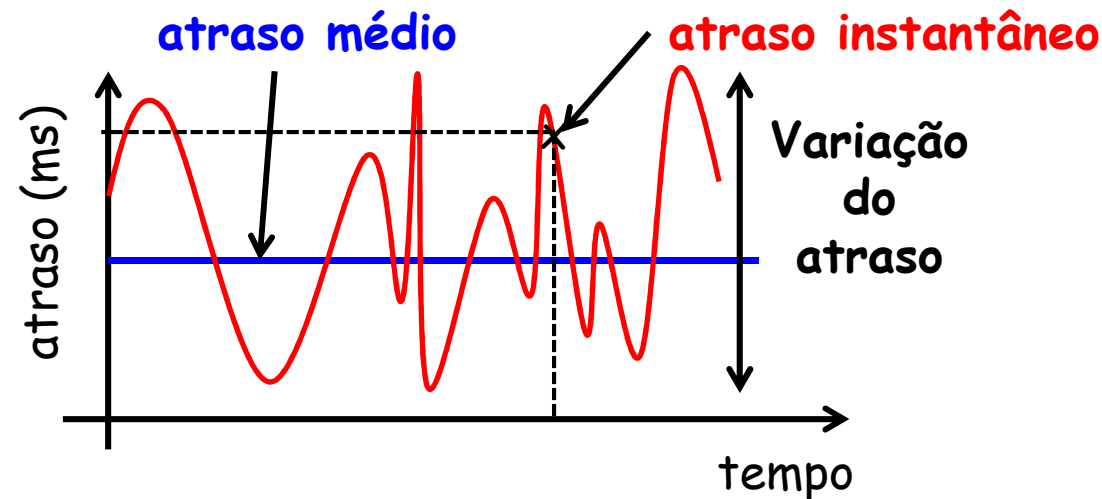
Atraso de Enfileiramento

- Considerando que:
 - R = larg. de banda do enlace (bits/s)
 - L = compr. do pacote (bits)
 - a = tx. média de chegada de pacotes
- Intensidade de tráfego = $\rho = La/R$
 - $\rho \sim 0$: Pequeno atraso de enfileiramento
 - $\rho \rightarrow 1$: Grande atraso
 - $\rho > 1$: Chega mais "trabalho" do que a capacidade de atendimento, atraso médio infinito!



Jitter

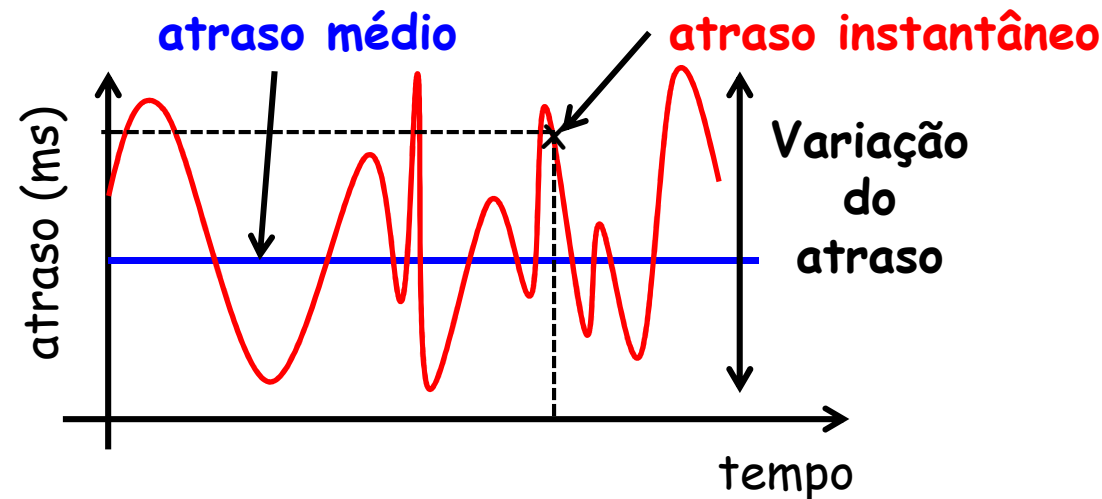
- Variação do atraso dos pacotes de um mesmo fluxo de dados
 - Prejudicial principalmente para aplicações multimídia, ex. streaming de vídeo
 - **Players: Removem jitter com armazenamento em buffer**



Jitter

- Variação do atraso dos pacotes de um mesmo fluxo de dados
 - Pode ser calculado como desvio padrão do atraso: *jitter*

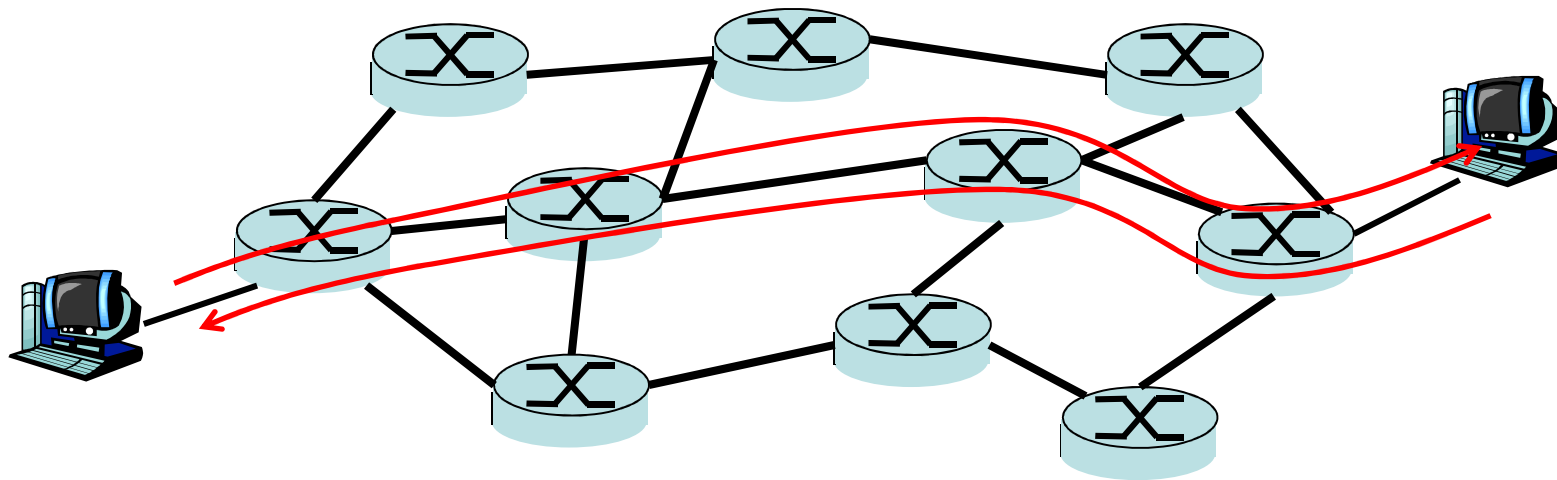
$$= \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n}}$$



Tempo de Ida e Volta

- Calcular atraso fim-a-fim é complexo
 - Requer sincronismo de relógios entre origem e destino
- Tempo de ida e volta (RTT - *Round Trip Time*)
 - Tempo que um pacote leva para chegar no destino e voltar até a origem
 - Calculado somente pelo nó de origem
 - Problema de sincronismo é evitado

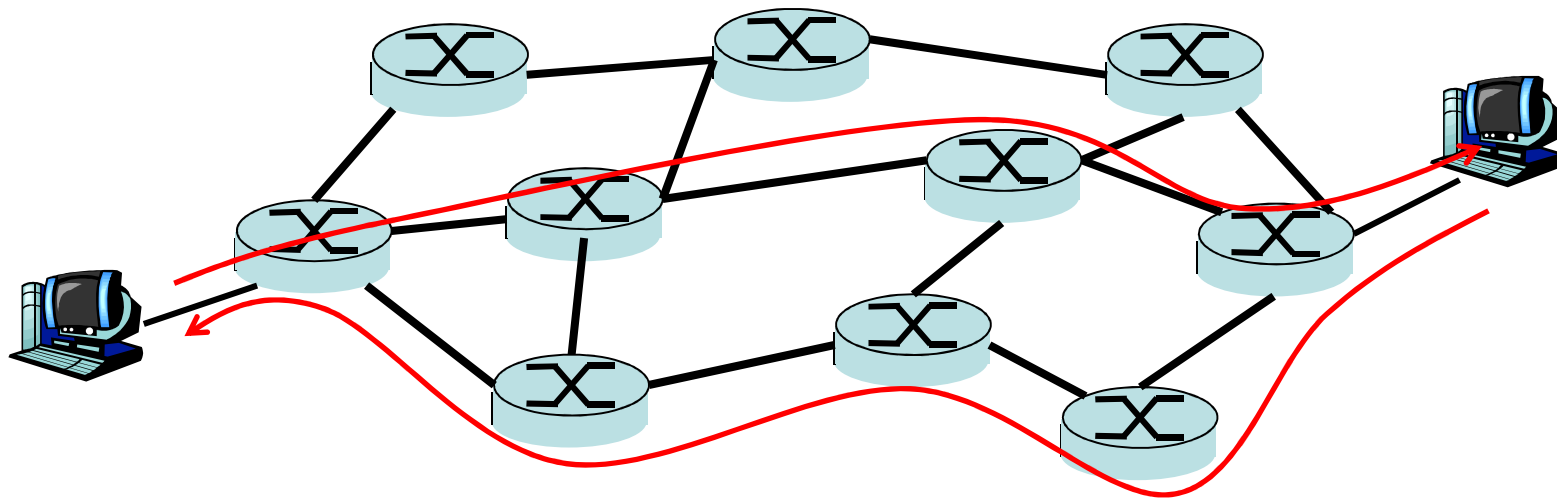
Tempo de Ida e Volta



$$\text{RTT} = \dots + \dots$$

Tempo de Ida e Volta

- Atraso fim-a-fim $\cong RTT/2$
 - Ida e volta podem passar por caminhos diferentes



Tempo de Ida e Volta

- Ferramenta ping:
 - Apresenta o RTT para um dado destino

```
ltaqua:~> ping -c 10 www.google.com.br
PING www.google.com.br (173.194.42.143) 56(84) bytes of data.
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=1 ttl=51 time=2.05 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=2 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=3 ttl=51 time=1.71 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=4 ttl=51 time=2.85 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=5 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=6 ttl=51 time=1.67 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=7 ttl=51 time=1.73 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=8 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=9 ttl=51 time=1.77 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=10 ttl=51 time=1.85 ms

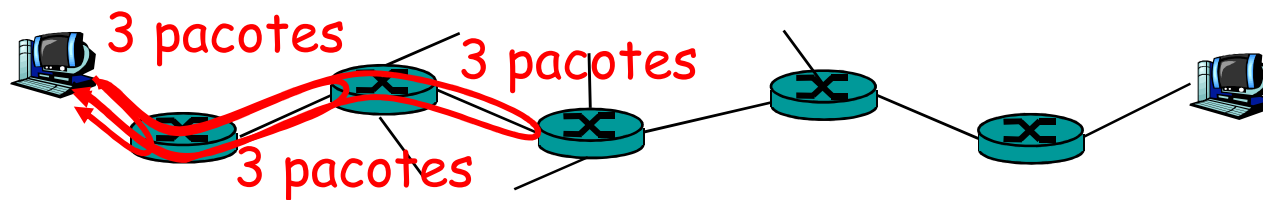
--- www.google.com.br ping statistics ---
10 packets transmitted, 10 received, 0% packet loss, time 9015ms
rtt min/avg/max/mdev = 1.679/1.883/2.859/0.345 ms
```

RTT médio foi calculado baseado em 10 amostras

Traceroute/Tracert

- Fornece medições de RTT da fonte até cada um dos roteadores ao longo do caminho até o destino
 - Envia três pacotes que alcançarão o roteador i no caminho até o destino
 - O roteador i devolverá um pacote de erro até o transmissor
 - O transmissor calcula o intervalo de tempo decorrido entre a transmissão e a chegada da resposta

Traceroute/Tracert



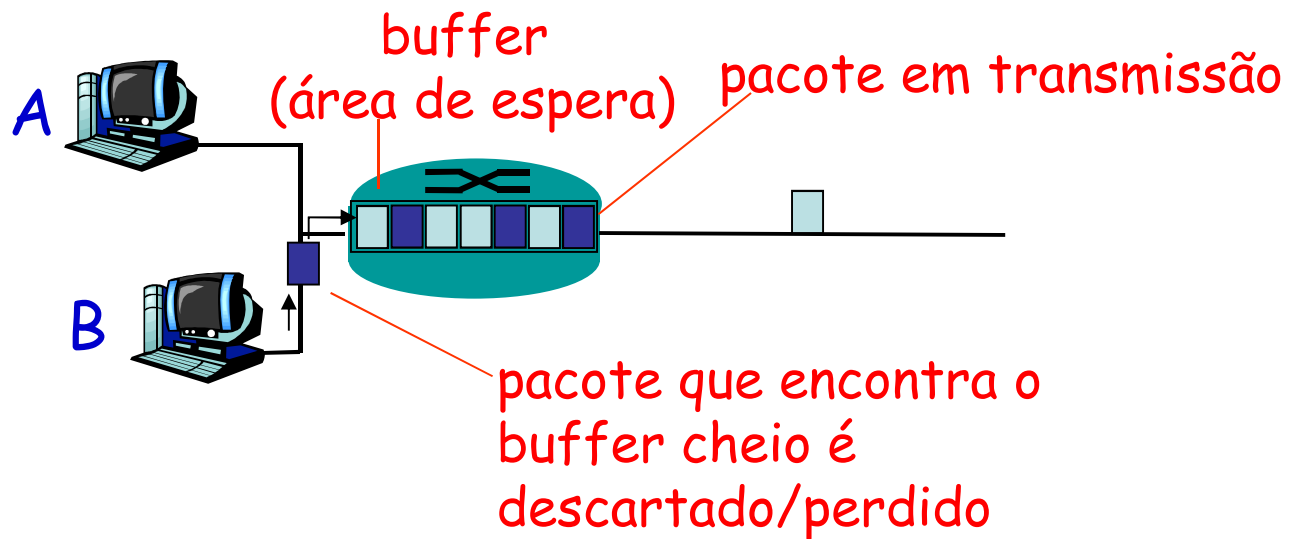
Traceroute/Tracert

```
itaqua:~> traceroute www.google.com.br
traceroute to www.google.com.br (74.125.234.55), 30 hops max, 60 byte packets
 1 192.168.1.1 (192.168.1.1) 0.362 ms 0.363 ms 0.417 ms
 2 angra.gta.ufrj.br (146.164.69.129) 0.934 ms 1.808 ms 1.812 ms
 3 146.164.6.193 (146.164.6.193) 1.809 ms 1.976 ms 1.979 ms
 4 rt-ufrj.ufrj.br (146.164.1.193) 2.028 ms 2.028 ms 2.096 ms
 5 giga-bgp-cbpf.rederio.br (200.20.94.58) 9.453 ms 9.456 ms 9.643 ms
 6 xe-0-3-1.ar2.gigl.gblx.net (64.214.61.249) 8.981 ms 7.644 ms 7.669 ms
 7 po5.asr1.GRU1.gblx.net (67.16.130.58) 16.185 ms po3.asr1.GRU1.gblx.net (67.16.139.166) 16.182 ms po5.asr1.GRU1.gblx.net (67.16.130.58) 15.969 ms
 8 google-1.ar5.gru1.gblx.net (64.208.110.102) 16.448 ms 16.922 ms 16.987 ms
 9 209.85.243.200 (209.85.243.200) 16.863 ms 16.371 ms 16.906 ms
10 209.85.251.99 (209.85.251.99) 16.603 ms 14.413 ms 13.900 ms
11 gru03s06-in-f23.1e100.net (74.125.234.55) 14.418 ms 19.263 ms 19.811 ms
itaqua:~>
```

Perda de Pacotes

- Fila (*buffer*) anterior a um enlace possui capacidade finita
- Quando um pacote chega numa fila cheia, o pacote é descartado (perdido)
- O pacote perdido pode ser retransmitido pelo nó anterior, pelo sistema origem, ou não ser retransmitido

Perda de Pacotes



Perda de Pacotes

- Ferramenta ping:
 - Apresenta descontinuidade nos números de sequência quando pacotes são perdidos

```
itaqua:~> ping -c 20 www.google.com.br
PING www.google.com.br (173.194.42.152) 56(84) bytes of data:
64 bytes from rio01s05-in-f24.1e100.net (173.194.42.152): icmp_req=1 ttl=51 time=1.77 ms
64 bytes from rio01s05-in-f24.1e100.net (173.194.42.152): icmp_req=2 ttl=51 time=1.68 ms
64 bytes from rio01s05-in-f24.1e100.net (173.194.42.152): icmp_req=3 ttl=51 time=2.47 ms
```

Taxa de perda (Tp) foi calculada baseado em 20 amostras. Para encontrar a taxa de entrega (Te) basta subtrair a taxa de perda de 1, sendo assim:

$$Te = 1 - Tp = 55\%$$

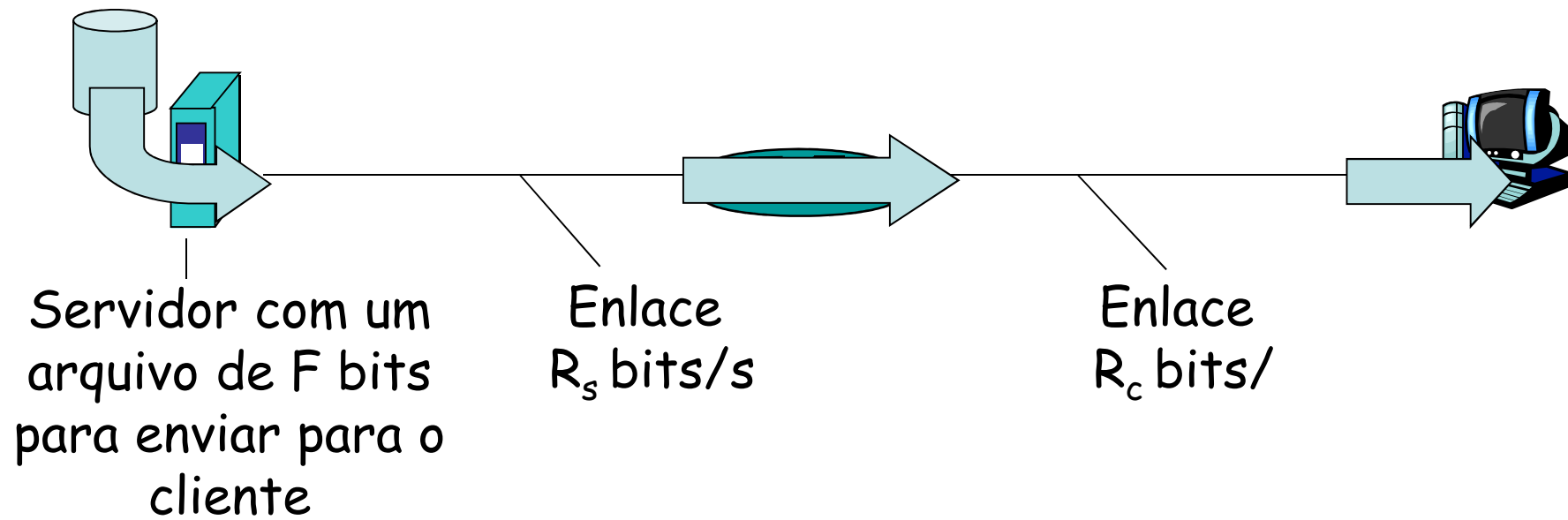
```
64 bytes from rio01s05-in-f24.1e100.net (173.194.42.152): icmp_req=17 ttl=51 time=1.77 ms
64 bytes from rio01s05-in-f24.1e100.net (173.194.42.152): icmp_req=18 ttl=51 time=1.65 ms
64 bytes from rio01s05-in-f24.1e100.net (173.194.42.152): icmp_req=19 ttl=51 time=1.74 ms
64 bytes from rio01s05-in-f24.1e100.net (173.194.42.152): icmp_req=20 ttl=51 time=1.69 ms

... www.google.com.br ping statistics ...
20 packets transmitted, 11 received, 45% packet loss, time 19013ms
rtt min/avg/max/mdev = 1.634/1.783/2.473/0.229 ms
```

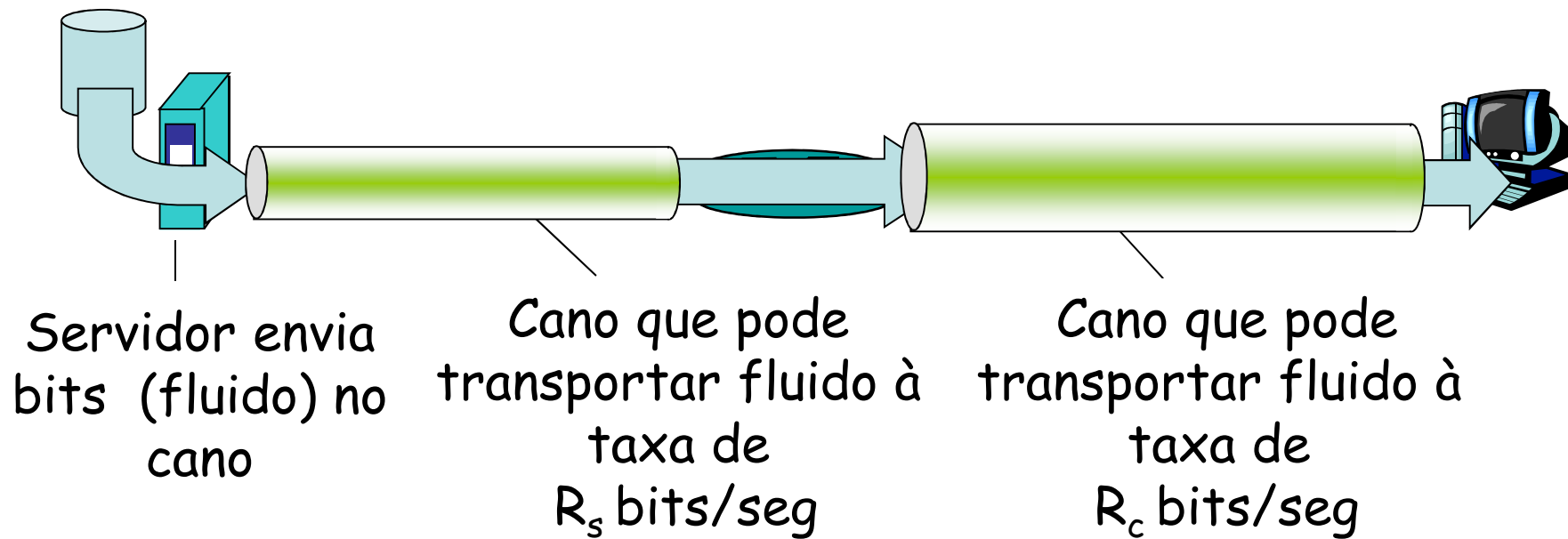
Vazão (*Throughput*)

- Taxa na qual os bits são transferidos entre o transmissor e o receptor
 - Dada em bits/unidade de tempo
 - Instantânea: taxa num certo instante de tempo
 - Média: taxa num intervalo de tempo

Vazão (*Throughput*)

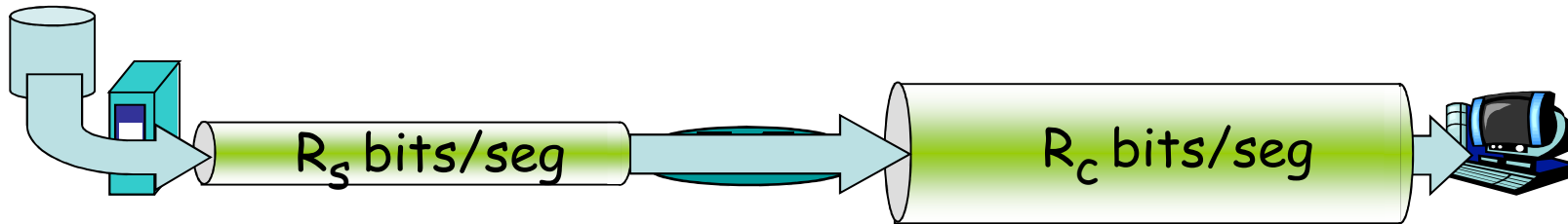


Vazão (*Throughput*)

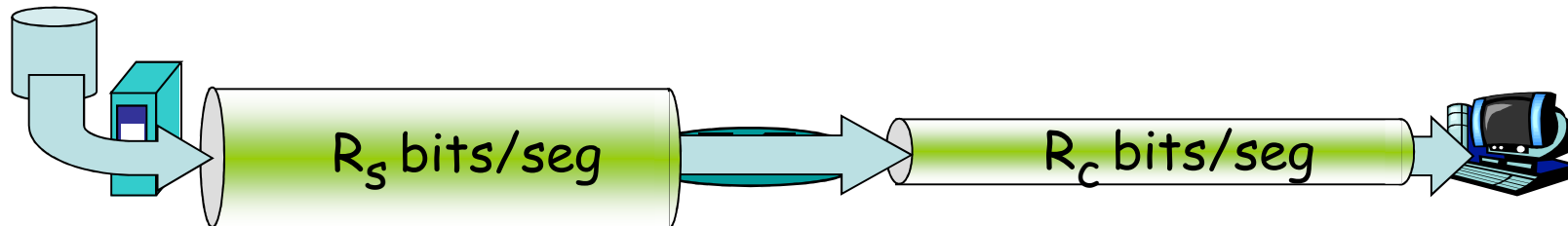


Vazão (*Throughput*)

- $R_s < R_c$: Qual é a vazão média fim-a-fim?

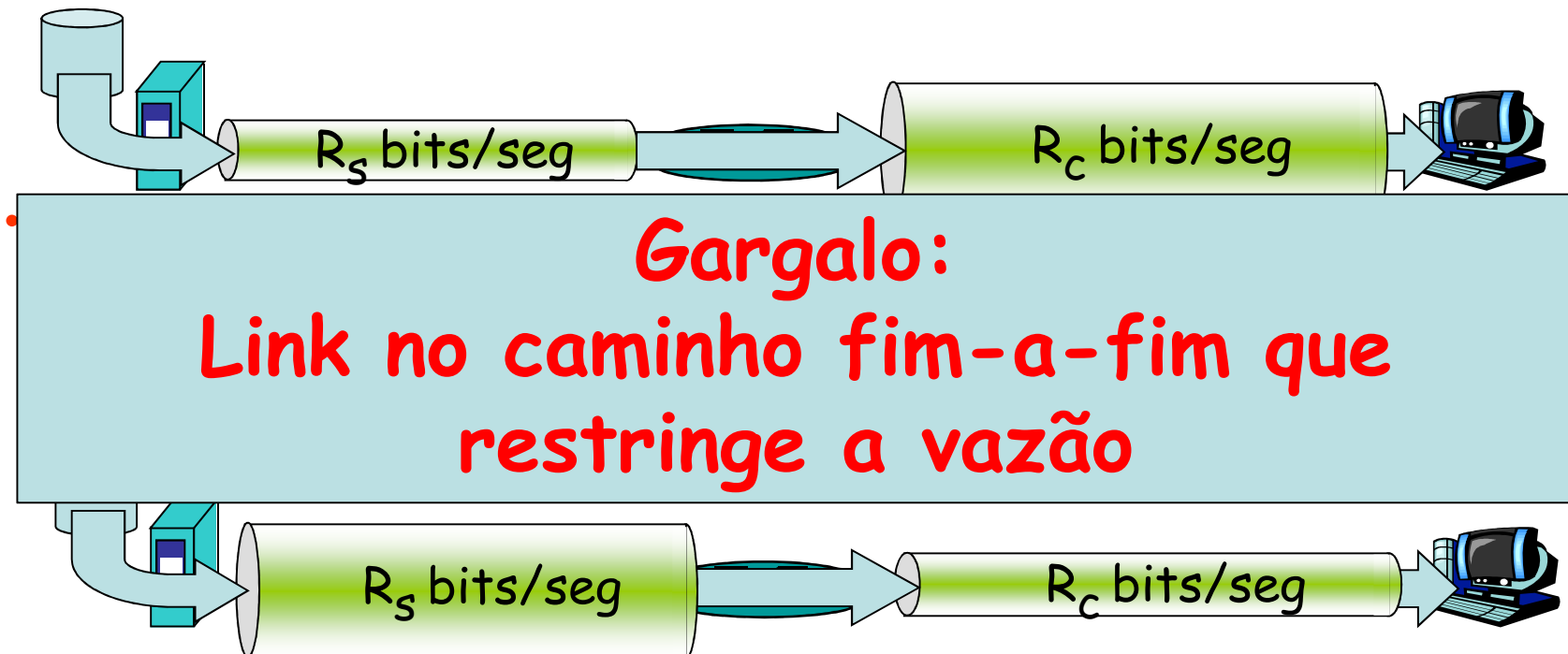


- $R_s > R_c$: Qual é a vazão média fim-a-fim?



Vazão (*Throughput*)

- $R_s < R_c$: Qual é a vazão média fim-a-fim?



Vazão (*Throughput*)

- Ferramenta ping:
 - Como calcular a vazão no exemplo abaixo?

```
itaqua:~> ping -c 10 www.google.com.br
PING www.google.com.br (173.194.42.143) 56(84) bytes of data.
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=1 ttl=51 time=2.05 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=2 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=3 ttl=51 time=1.71 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=4 ttl=51 time=2.85 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=5 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=6 ttl=51 time=1.67 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=7 ttl=51 time=1.73 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=8 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=9 ttl=51 time=1.77 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=10 ttl=51 time=1.85 ms

--- www.google.com.br ping statistics ---
10 packets transmitted, 10 received, 0% packet loss, time 9015ms
rtt min/avg/max/mdev = 1.679/1.883/2.859/0.345 ms
```

Vazão (*Throughput*)

- Ferramenta ping:
 - Como calcular a vazão no exemplo abaixo?

```
ltaqua:~> ping -c 10 www.google.com.br
PING www.google.com.br (173.194.42.143) 56(84) bytes of data:
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=1 ttl=51 time=2.05 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=2 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=3 ttl=51 time=1.71 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=4 ttl=51 time=2.85 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=5 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=6 ttl=51 time=1.67 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=7 ttl=51 time=1.73 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=8 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=9 ttl=51 time=1.77 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=10 ttl=51 time=1.85 ms

--- www.google.com.br ping statistics ---
10 packets transmitted, 10 received, 0% packet loss, time 9015ms
rtt min/avg/max/mdev = 1.679/1.883/2.859/0.345 ms
```

$$\text{Vazão} = 10 \cdot 64 \cdot 8 / 9,015 = 567,9 \text{ bits/s}$$

Exercícios

- Execute o comando `iperf` para o endereço `127.0.0.1` e calcule a vazão
 - Comando no servidor:
 - `iperf -s`
 - Comando no cliente
 - `iperf -c 127.0.0.1`

Exercícios

- Execute o comando `iperf` para o endereço `127.0.0.1` e calcule a vazão, *usando agora uma rajada UDP*
 - Comando no servidor:
 - `iperf -s -u`
 - Comando no cliente
 - `iperf -c 127.0.0.1 -u`

Exercícios

- Execute o comando `iperf` para o endereço `127.0.0.1` e calcule a vazão, *usando agora uma rajada UDP e intervalo de 2 segundos entre relatórios*
 - Comando no servidor:
 - `iperf -s -u`
 - Comando no cliente
 - `iperf -c 127.0.0.1 -u -i 2`

Camadas de Protocolos e Modelos de Serviços

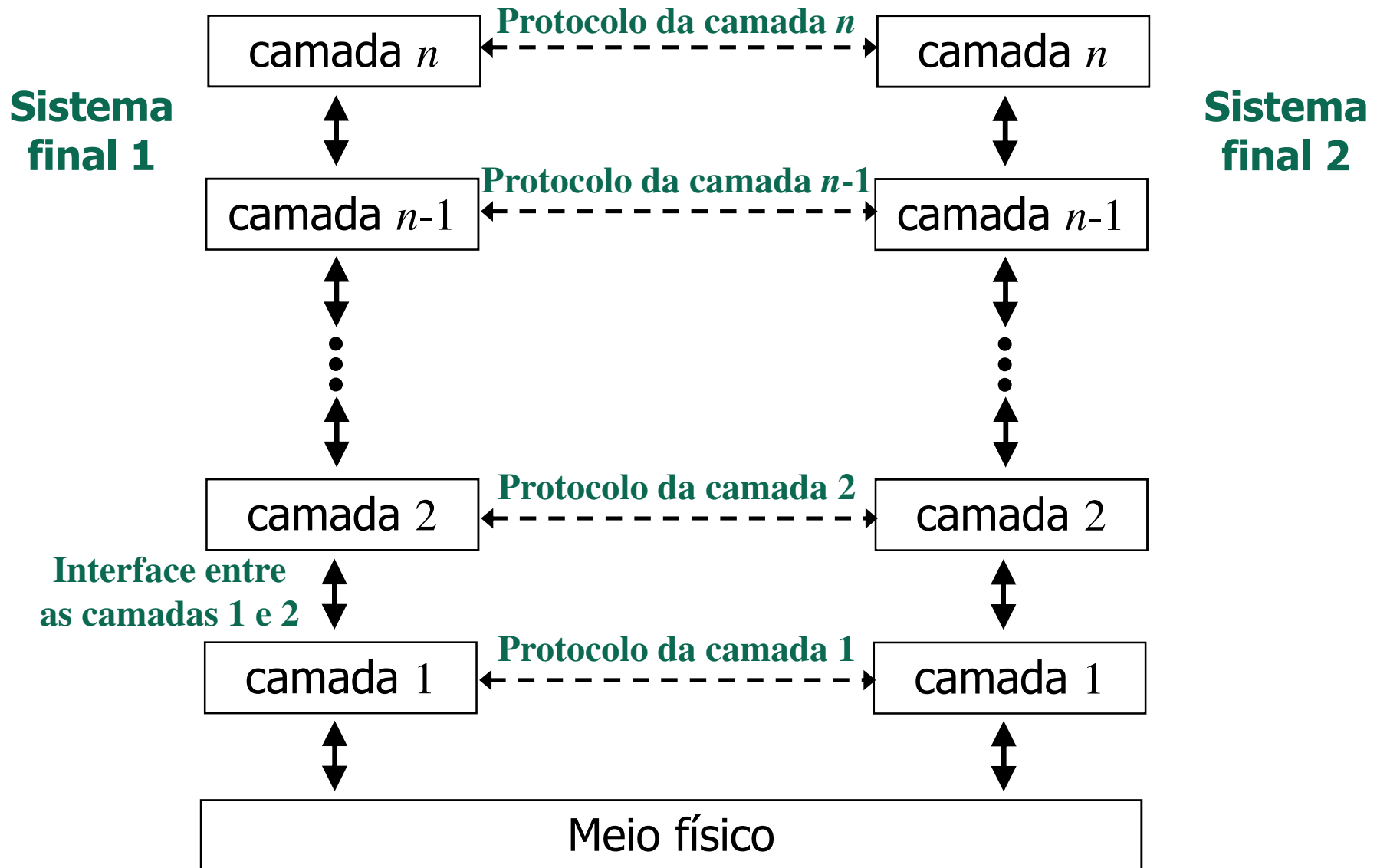
Arquitetura em Camadas

- Reduzir a complexidade do projeto de uma rede de comunicação
 - Cada camada
 - Provê um **serviço** para as camadas superiores
 - "Esconde" das camadas superiores como o serviço é implementado
 - Criar um pilha de camadas
 - Número de camadas
 - Nome de cada camada
 - Função de cada camada
- Podem ser diferentes para cada rede

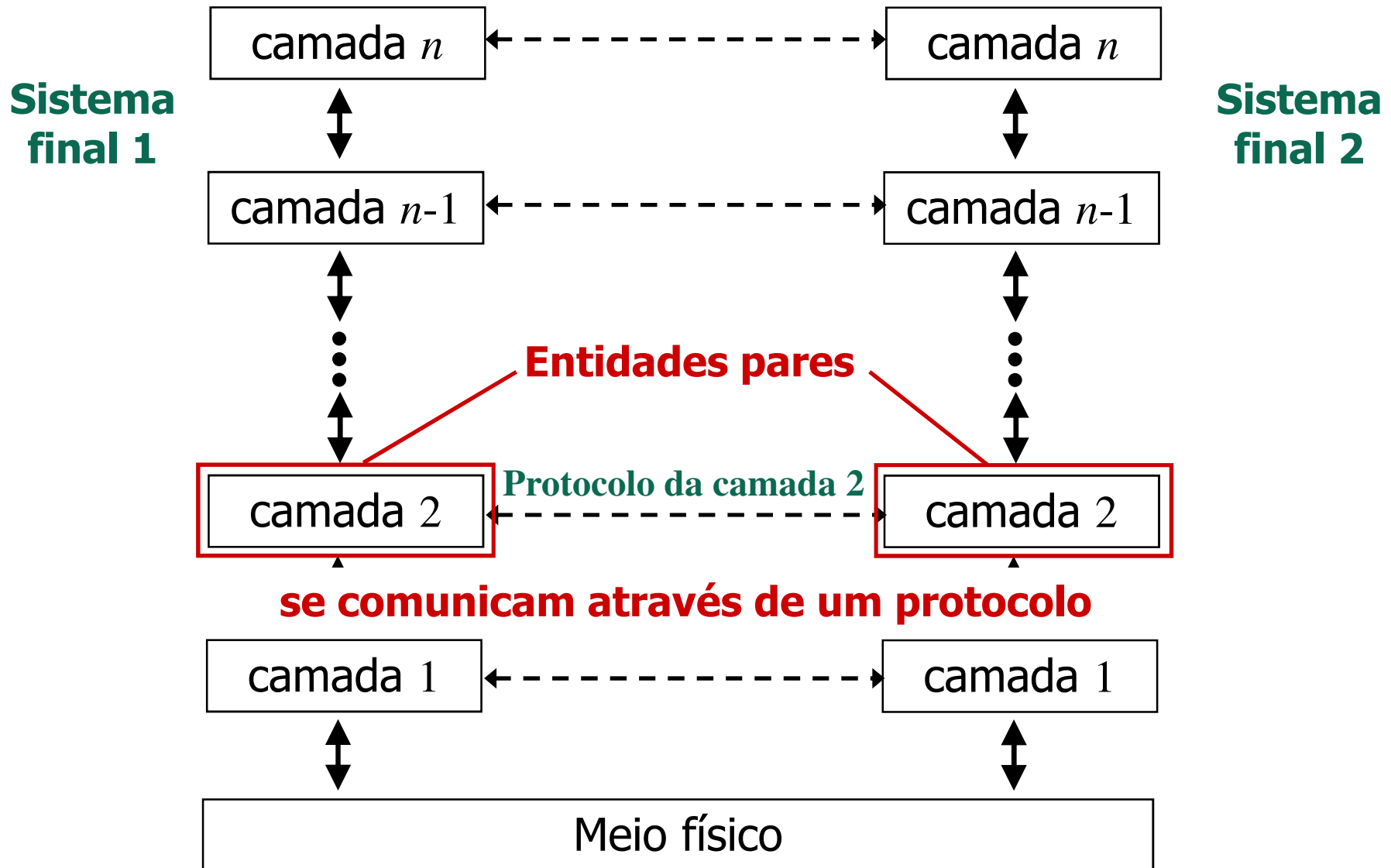
Por Que Dividir em Camadas?

- Lidar com sistemas complexos
 - Estrutura explícita permite a identificação e relacionamento entre as partes do sistema complexo
 - Modularização facilita a manutenção e atualização do sistema
 - Mudança na implementação do serviço da camada é transparente para o resto do sistema

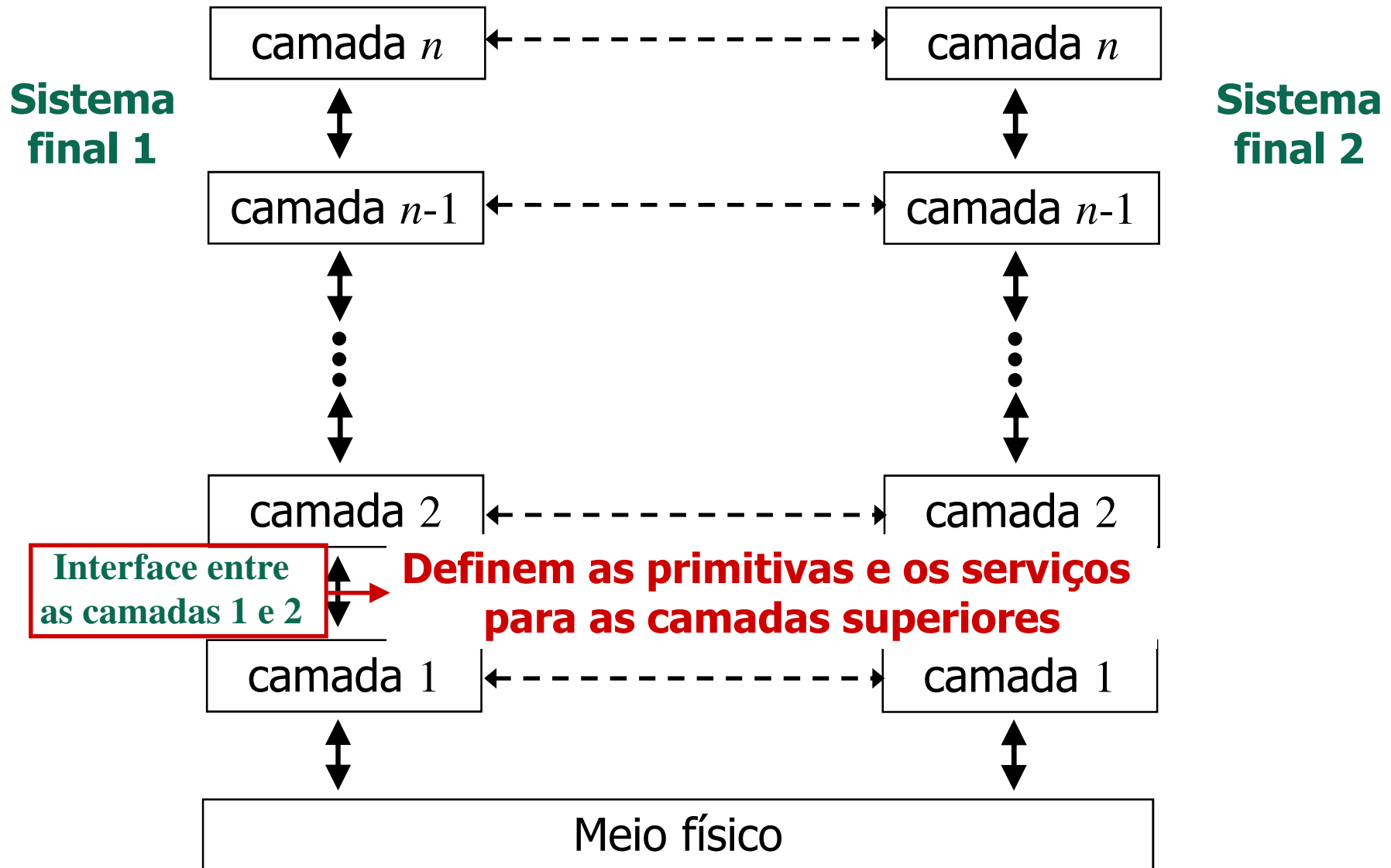
Arquitetura em Camadas



Arquitetura em Camadas



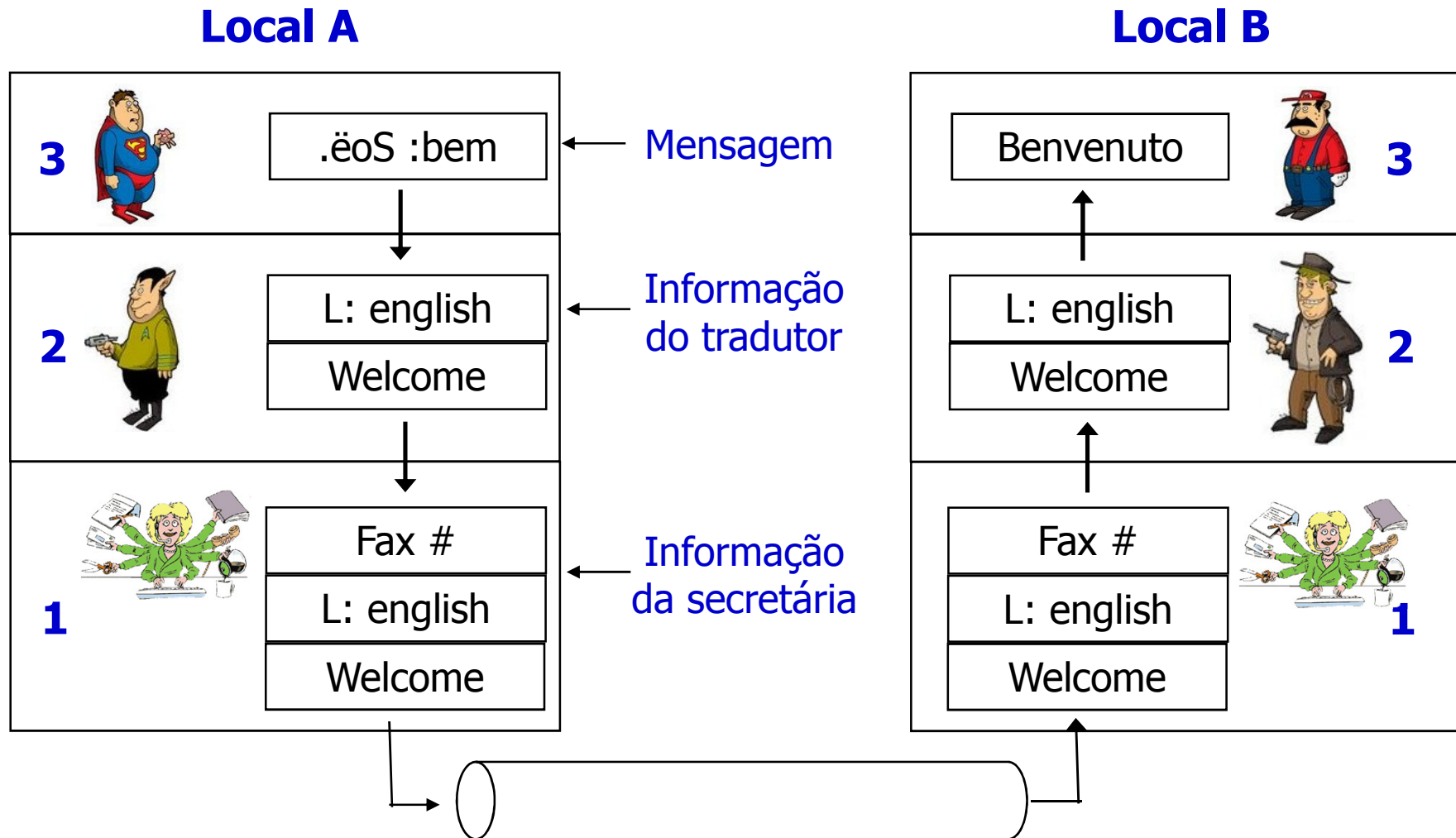
Arquitetura em Camadas



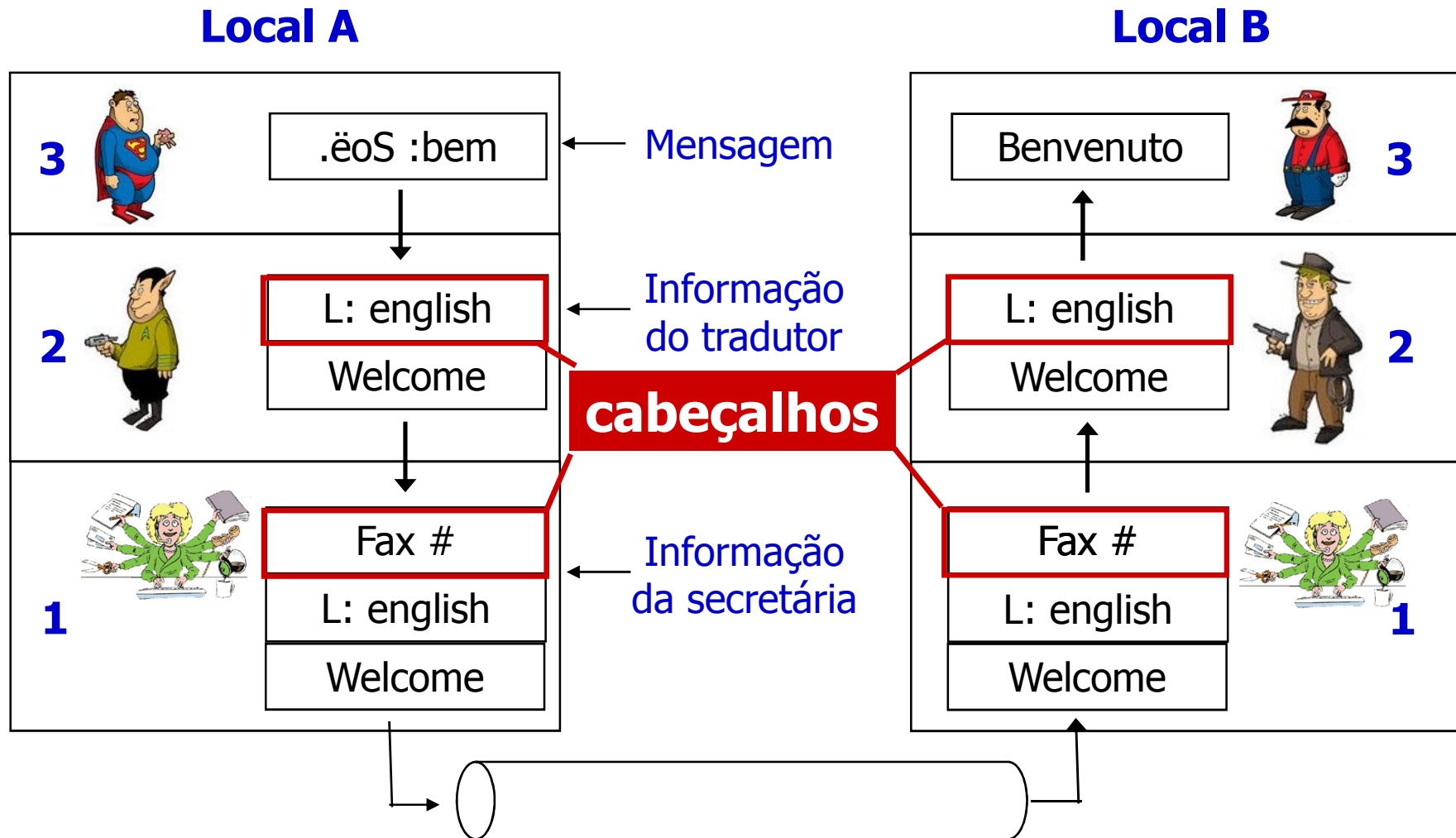
Mais Conceitos

- **Arquitetura de rede**
 - Conjunto de protocolos e camadas
- **Pilha de protocolos**
 - Lista de protocolos usados por um sistema

Comunicação Multicamadas



Comunicação Multicamadas



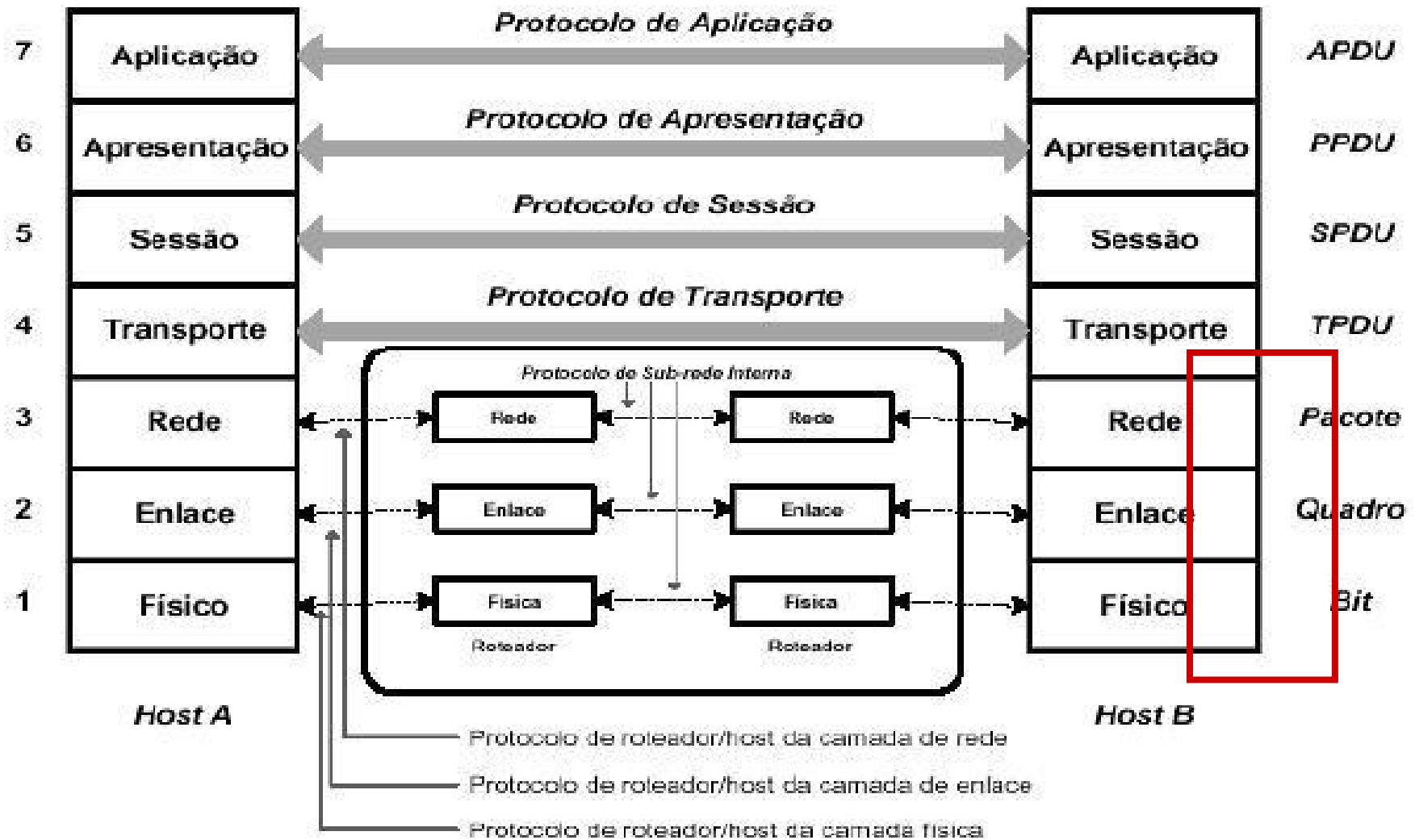
Arquiteturas de Rede

- Duas mais importantes
 - Modelo de referência OSI
 - Modelo TCP/IP

Modelo OSI

- *OSI: Open Systems Interconnection*
- Proposto pela ISO (*International Standards Organization*)
 - Década de 70
- **Sete camadas**
 1. Física
 2. Enlace
 3. Rede
 4. Transporte
 5. Sessão
 6. Apresentação
 7. Aplicação

Modelo OSI



Modelo OSI

- **Prós:** bastante geral e continua válido até hoje
- **Contras:** protocolos associados ao modelo OSI são raramente usados
- **Críticas**
 - Complexidade
 - Cada camada deve desempenhar a sua função antes de encaminhar os dados para a camada seguinte
 - Rigidez de modelagem
 - Camadas diferentes não devem compartilhar informações
 - Mesmos serviços implementados por diferentes camadas
 - Ex.: correção de erros

Modelo TCP/IP

- Década de 80
- **Cinco/Quatro camadas**

1. Física
2. Enlace
3. Rede
4. Transporte
5. Aplicação

Modelo TCP/IP



Modelo TCP/IP

- **Prós:** protocolos associados ao modelo TCP/IP são amplamente usados
- **Contras:** camadas mais "restritas" do que no OSI
- O modelo OSI é apenas um modelo de referência
- O modelo TCP/IP define os protocolos para cada camada

Camadas do Modelo TCP/IP

- Aplicação
 - Suporte para aplicações de rede
 - Mensagens
 - Exs.: HTTP, SMTP, FTP, etc.
- Transporte
 - Comunicação fim-a-fim
 - Transferência de dados entre sistemas finais
 - Segmentos
 - Exs.: TCP, UDP

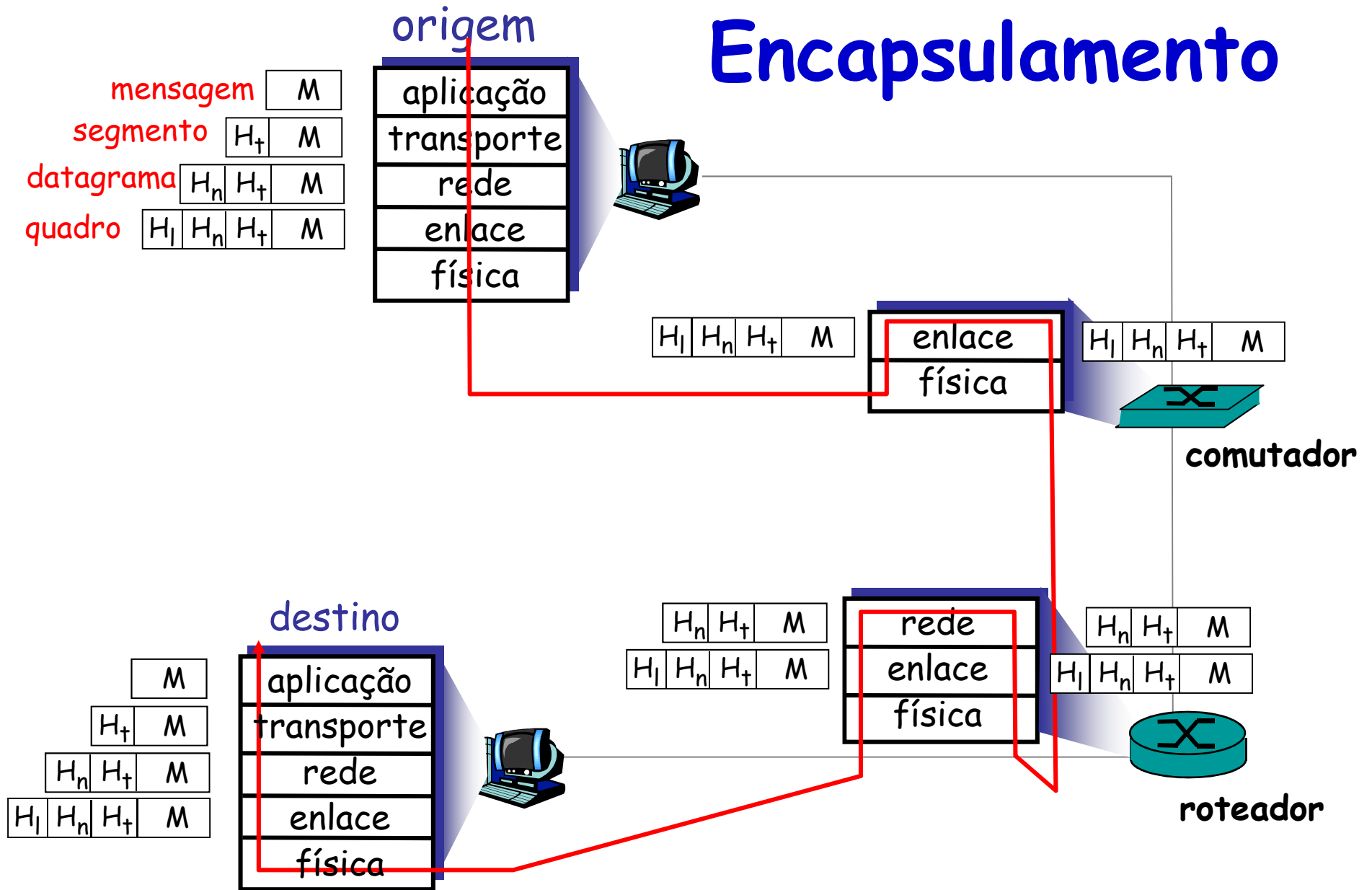
Camadas do Modelo TCP/IP

- Rede
 - Encaminhamento e roteamento*
 - Datagramas
 - Ex.: IP
- Enlace
 - Comunicação salto-a-salto
 - Transferência de dados entre elementos de rede vizinhos
 - Quadros
 - Exs.: Ethernet, PPP, WiFi, etc.

Camadas do Modelo TCP/IP

- Física
 - Transmissão dos bits "no fio"
 - Modulação e codificação

Encapsulamento



Material Utilizado

- Notas de aula do Prof. Miguel Elias Mitre Campista
- Notas de aula do Prof. Igor Monteiro Moraes, disponíveis em <http://www2.ic.uff.br/~igor/cursos/redespg>

Leitura Recomendada

- Capítulo 1 do Livro "*Computer Networking: A Top Down Approach*", 5a. Ed., Jim Kurose and Keith Ross, Editora Pearson, 2010
- Capítulo 1 e 2 do Livro "*Computer Networks*", Andrew S. Tanenbaum e David J. Wetherall, 5a. Edição, Editora Pearson, 2011
- Campista, M. E. M., Ferraz, L. H. G., Moraes, I. M., Lanza, M. L. D., Costa, L. H. M. K., and Duarte, O. C. M. B. - "*Interconexão de Redes na Internet do Futuro: Desafios e Soluções*", em Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC'2010, pp. 47-101, Gramado, RS, Brazil, Maio de 2010.